발 간 등 록 번 호
11-1541000-000896-01

해조류 바이오매스의 대량생산 및 통합활용 기반구축 연구

2011. 8

농림수산식품부
Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries

50

해조류 바이오매스의 대량생산 및 통합활용 기반구축 연구

2011. 8

농림수산식품부
Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

본 보고서를『해조류 바이오매스의 대량생산 및 통합활용 기반구축 연구(연구기간 : 2010. 12. 23~2011. 08. 22)』용역사업의 결과보고서로 제출합니다.

2011. 8.

총괄연구책임자 : 우희철(부경대학교)
연 구 원 : 김경헌(고려대학교)
: 김남길(경상대학교)
: 김두운(전남대학교)
: 김헌태(부경대학교)
: 김형락(부경대학교)
: 나원배(부경대학교)
: 류청로(부경대학교)
: 박용철(국민대학교)
: 윤한삼(부경대학교)
: 이인철(부경대학교)
: 이지은(성균관대학교)
: 강태순(지오시스템리서치)

연 구 보 조 원 : 장재길(경상대학교)
: 이화연(경상대학교)
: 조상대(경상대학교)
: 유창일(부경대학교)
: 정칠훈(부경대학교)
: 이주원(부경대학교)
: 김동환(부경대학교)
: 류승우(부경대학교)
: 전용호(부경대학교)
: 이경선(부경대학교)
: 김준호(부경대학교)
: 류성훈(부경대학교)
: 박정현(부경대학교)
: 제영준(부경대학교)
: 최인규(부경대학교)
: 강정원(부경대학교)
: 김영아(부경대학교)
: 김성희(부경대학교)
: 박정민(부경대학교)
: 김희택(고려대학교)
: 윤은주(고려대학교)
: 김수아(고려대학교)
: 전수영(국민대학교)
: 고상무(전남대학교)
: 장인성(성균관대학교)

요 약 문

I. 제 목

해조류 바이오매스의 대량생산 및 통합활용 기반구축 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구 목적

○ 바이오매스의 통합적 활용을 위한 지속가능한 해조류의 대량생산을 통하여 안정적 공급
○ 외해 해조류 양식 기술 개발을 통한 해역의 입체적 이용 및 그린에너지 자원 확보
○ 첨단융합기술을 접목한 해조류 대량 양식 기술의 개발을 통한 국가 경쟁력 확보
○ 저탄소 녹색성장에 부응한 신재생에너지의 상용화 및 CDM 사업 적극 대처
○ 신재생에너지 의무할당제(RPS)와 탄소배출권(CER) 의무이행제도 대비에 따른 비식용 해조류로부터 그린에너지 확보.
○ 기후변화협약 대응 및 수산분야 녹색산업화에 의한 신성장동력 창출.
○ 기존 화석연료 사용 시 발생하는 문제점인 공해 및 온실가스 발생의 획기적 감축과 자원고갈이라는 에너지 위기 극복 대안.
○ 해조류의 통합적 활용을 통한 경제적 그린에너지 생산기반 구축.
○ 해조류의 통합적 활용을 위한 부산물 응용.
○ 세계 최초로 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 통하여 그린에너지 및 고부가가치 제품 생산을 위한 기반구축.

2. 연구 필요성

○ 고유가 및 기후변화에 대한 적극적 대응전략 마련 절실
○ 저탄소 녹색성장을 새로운 국가발전 패러다임으로 선언
○ 미래 한국경제를 이끌고 나갈 신성장동력 발표
○ 해조류가 3세대 바이오매스로 부각
○ 해조류 바이오매스 대량생산에 의한 바이로 리파이너리 구축으로 경제성 제고
○ 바이오매스용 해조류의 생산단가 절감을 위해 대량생산을 위한 기술개발이 필요

○ 기존의 양식시스템으로는 바이오에너지 생산용 바이오매스를 충당하기에는 양식장 면적이 절대적으로 부족하므로 새로운 양식적지를 개발할 필요성 대두
○ 우리나라 연안해역은 소규모 식용의 해조류 양식 등으로 대량생산을 위한 해양공간이 절대적으로 부족하여 외해의 넓은 공간으로 확대할 수 밖에 없는 실정
○ 과거 경험적 식용해조류 양식시설 기술에서 탈피하여 공학적으로 타당하고 경제적인 대량 양식 시설 설치기술의 개발이 시급
○ 해조류의 생리활성 성분을 건강기능성 소재 및 기초생활제품으로 활용하기 위하여 이들 성분의 구조분석 및 생리활성 기전 규명이 필요함.
○ 다양한 해조당으로 구성된 해조류 바이오매스의 효과적인 분별 및 회수를 위해서는 화학적 및 생물학적 전처리/당화 기술의 개발이 필요함.
○ 해조류의 건조중량의 70%가 탄수화물로 구성되어 있어 이를 발효가 가능한 당류 및 대사 전구체로 전환하여 발효공정을 통하여 알콜로 전환하는 기술의 개발이 필요함.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 해조류 바이오매스의 대량생산

■ 해조류 양식종 및 적지 선정
- 해역별 대상종 탐색 및 선정
- 새로운 종묘생산 기술개발

■ 외해 해면양성 및 생산관리 시스템
- 수치시뮬레이션 연구
- 현장관측 확대

■ 양식시설 환경 모니터링
- 양식장 해양환경 인자별 모니터링 개발 기반연구
- 유비쿼터스형 양식장 실시간 감시 기술 개발 기반연구/개념설계

2. 해조류 바이오매스의 통합활용

■ 건강신소재 개발
- 동물실험을 통한 다시마 항염증 물질의 효과 규명 및 독성 시험
- 동물실험을 통한 모자반 항비만 물질의 효과 확인

■ 생물학적 전환공정 개발

- 알긴산의 효소적 분해산물(당화물)의 분리정제 공정 확립
- 알긴산 효소적 분해산물(당화물)의 LC-MS 이용 중합도 및 질량 분석

■ 난발효성 당류 대사형 재조합 미생물 개발

- 알긴산 유래 유로닉산의 대사경로 수립
- 난발효성 알긴산 대사효소의 유전자 클로닝 및 발현벡터 제조
- Alginate lyase 활성을 지닌 전복 Metagenomic library 유래 유전자(AlyDW11) 발현
- AlyDW11 효소활성 분석

■ 부탄올 생산균주 및 발효공정 개발

- [Ni-Fe]hydrogenase의 knockout 균주외의 hydrogenase maturation enzyme의 deletion 균주를 설계하고 발효특성 분석
- laminaranase의 heterologous expression과 균주내 존재하는 비활성 cellulase가 활성화된 균주의 설계 및 해조류 가수분해 특성 분석

Ⅳ. 연구개발결과

1. 해조류 바이오매스의 대량생산

■ 해조류 양식종 및 적지 선정

- 대량생산 대상종으로서 양성기간, 성장속도, 생체량 등을 고려할 때는 다시마가 월등이 우수한 종임은 입증되었다. 그러나 기능성 물질의 획득 측면에서는 감태가 훨씬 우수한 것으로 알려져 있어, 바이오매스 대량생산만으로 감태를 평가할 것이 아니라 기능성에 초점을 두고 평가해야 할 것으로 생각된다.
- 대량생산 적지로서 기장과 완도를 비교하였을 때, 완도해역은 다시마의 질이 좋고 끝녹음도 기장해역에 비해 늦게 시작되어 고수온기에 이르러서도 해적생물이나 착생생물이 적어 전처리과정에서도 유리한 반면, 기장해역에서는 6월부터 끝녹음이 급격히 진행되고 태형동물인 톱니막이끼벌레(*Membranipora serrilamella*)와 테히드라(*Sertularella levigata*)류가 엽체의 전 표면을 피복할 정도로 밀생하여 식용으로는 불가능한 상태로 되는 것은 물론, 시료의 전처리과정에서 이들 해적생물이나 착생생물을 제거해 주지 않으면 분석 데이터에 오류를 가져올 수 있는 문제점이 나타났다.
- 다시마 양식만을 놓고 보면 기장 측이 제품의 질 측면에서 불리한 환경에 놓였다고 볼 수 있었다. 그러나 기장의 경우 다시마가 최대 생장기에 달한 6월초순

이후 수온이 급격히 상승하기 시작하여 끝녹음이 시작되고, 해적생물의 유생이 출현하여 엽면에 착생하기 때문에 다사마가 최대 생장기에 이른 6월 초순경에 집중적으로 수확을 한다면 이러한 문제는 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

- 곰피의 경우 부착기질의 특성상 초기에 종묘가 탈락하는 경향이 있고, 본 연구에서도 입식된 종묘가 초기에 탈락, 유실되어 소기의 성과를 거두지 못했다. 이 부분은 추가로 구명할 예정에 있으며 괭생이모자반은 생리특성상 종묘생산이 늦게 이루어질 수밖에 없었기에 현재 계속수행중인 시험양식 결과를 모니터링하면서 추계와 동계의 생장시험 결과를 통해 추가로 대상종으로서의 특성과 생산량을 비교하여 분석할 예정에 있다.

■ 외해 해면양성 및 생산관리 시스템

- 해양파랑과 연속적인 조류를 관측하였으며 수온, 염분, 수질 등의 해양환경도 지속적으로 관찰하여 결과를 제시하였다. 또한 수치시뮬레이션을 통해 양식시설의 설계환경인자도 분석하였다.
- 연구에서는 외해 해조류 대량생산 시스템의 기능 및 개발 목적으로서 공간창조 개념을 종래의 단편적, 획일적이며 폐쇄적 해양이용가치를 벗어나 산업성에 기반한 유연성을 갖는 기능성, 개방성, 지속성, 방재/안전성의 차세대형 외해 해조류 대량생산 시스템 개념으로의 Paradigm Shift를 제안하였다.

■ 양식시설 환경모니터링

- 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템의 연구 추진전략과 흐름을 수립하고, 양식시설의 안정성과 기능성을 평가하는 기술 개발에 초점을 둔 세부 전략 및 개념설계를 수행하였다. 개략적인 외해 양식시설 환경 모니터링 시설 설계의 개념을 도식화하여 제시하였다.
- 외해 해조류 대량양식 환경모니터링 시스템은 해상에 부유식(계류부이)으로 설치되어 있는 구조물에 내부 및 외부에 각종 모니터링 장비를 탑재하여 해중 및 해상 상태를 모니터링하고 이를 관리실 및 육상으로 무선 전송, 무선 전송된 해양환경자료 및 영상은 모니터에서 실시간으로 확인 가능한 시스템으로 구축하는 것이 바람직하다고 판단된다.

2. 해조류 바이오매스의 통합활용

■ 건강신소재 개발

- 다시마의 n-헥산과 디클로로메탄 획분은 항염증 효과가 우수하여, 앞으로 염증 관련 질환 (위염, 대장염, 류마티스성 관절염 등)과 퇴행성 신경질환 (알츠하이

머성 치매, 파킨슨씨 질병)의 예방과 치료를 위한 식의약품의 소재로 활용될 가치가 높은 것으로 평가되었다.

- 참모자반의 *n*-헥산 획분은 세포실험을 통하여 섬유아세포의 지방세포로의 분화 억제 뿐만 아니라 지방합성 저해능이 우수한 것으로 확인되었으며, 현재까지의 동물실험 결과에 의하면 *n*-헥산 획분에 의한 비만억제효과가 뛰어남을 확인하였다.

■ 생물학적 전환공정 개발

- Alginate의 효소적 당화공정을 위해서 크게 두 종류의 enzyme이 필요한데, 본 연구 결과 endo-type의 alginate lyase를 통해 중합도가 2, 3, 4, 5의 산물을 만드는 기술을 확보하였다. 현재 exo-type alginate lyase라고 생각되는 후보 효소군를 탐색 중이고 하반기 중으로 해당 후보군 중에서 exo-type alginate lyase에 해당되는 효소를 찾을 수 있을 것이라고 생각된다.

■ 난발효성 당류 대사형 재조합 미생물 개발

- 본 연구과제를 통해서 갈조류 유래 알긴산 단당류의 미생물 대사경로를 수립하였고, 알긴산 분해형 해양미생물 라이브러리를 구축하였고, 알긴산 유사 유로닉산을 대사할 수 있는 미생물을 선별하였으며, 알긴산 단량체의 제조를 위한 화학적 분해방법을 최적화하였으며, 알긴산 단량체를 대사할 수 있는 핵심효소의 유전자 정보를 획득하였고, 해양미생물 염색체에서 그 유전자를 증폭하였다. 또한 해양미생물 유래의 염색체유전자 라이브러리의 설계 조건을 확립하였다. 상기에 언급하였듯이 난발효성 당류인 알긴산을 대사할 수 있는 대사효소의 검색과 유전자 및 미생물을 선별하였고, 알긴산 유래 단량체의 안정적인 공급을 위해서 알긴산 단량체 제조방법을 개발하였다.

- Metagenomic fosmid library의 386,400 클론에 대하여 alginate lyase gene(A9mC) specific primer를 이용한 High-throughput screening (HTS) 방법으로 algianate lyase gene을 확인하였다. 그리고 cetylpyridinium chloride (CPC) assay를 통하여 alginate lyase activity를 확인하고 균주에 대한 순수분리를 하여 1종의 potential clone(AlyWL1)의 여부를 을 확보하였다. 또한 전복 소화기관에 존재하는 미생물의 DNA를 이용하여 Fosmid library를 제작하여, 알긴산을 저분자로 가수 분해하는 endolytic alginate lyase 활성을 가진 클론을 확보하였다.

■ 부탄올 생산균주 및 발효공정 개발

- CBP를 위한 맞춤형 부탄올생산균주의 개량하였다. Hydrogenase gene knockout에 의한 고수율 부탄올생산플랫폼균주 2종 선별하였으며, raw material 발효공정으로 다시마의 직접 발효를 행하여, 비타민과 기타영양소의 첨가없이 5-6g/l

butanol 생산가능함을 알 수 있었다. 또한, 염분에 대해 영향을 받지 않는 것도 알 수 있었다(upto 100g dw 다시마/l).

V. 연구개발결과의 활용계획

■ 국가정책 측면

- 저탄소 녹색성장의 국가발전 패러다임에 적극 부응
- 해양국토 및 배타적 경제수역의 효율적인 관리와 이용
- 고유가 및 기후변화에 대한 적극적 대응
- 녹색성장의 한 축으로서 온실가스와 환경오염을 줄이고 신성장동력 산업 활성화
- 외해 해조류 대량양식 산업으로 일자리 창출 효과
- 환경친화적 공간의 창출로 해양생태계 개선
- 대량해조류 양식으로 인한 어족자원의 조성
- 해조류 통합적 활용에 대한 최적 통합공정 설계 및 경제성 평가는 국가의 정책 수립에 기여

■ 연구개발 측면

- 현재 연안에서 이루어지고 있는 소규모 식용 해조류 양식산업에 응용
- 종묘생산 및 보존기술의 개발을 통해서 종묘 은행의 구축 기반에 활용
- 외해 해조류 대량 양식 융합기술 확보로 해양의 효과적인 이용
- 종합적이고 체계적인 실시간 양식환경 모니터링 시스템 개발
- 친환경 해조류 바이오매스 기술개발의 기초 및 응용자료로 활용
- 실시간 모니터링을 통한 효율적인 해조류 생산관리 및 방재기술 확보
- 해조류의 탄수화물의 분해효소 및 당화공정 개발은 생화학, 분자생물학, 미생물학, 단백질공학, 생물화학공학 등 다양한 분야의 기술이 요구되므로 전세계적으로 융합형 학문 연구의 트렌드와 같이 융합연구개발이 꼭 필요.

■ 산업화 측면

- 해조류 대량생산 시스템의 실용화를 통한 해조류 바이오매스 이용 관련 고부가가치 산업의 활성화
- 지능형 원격 통합 관리 시스템을 통한 양식장 관리, 해양재해관리, 적조경보 등에 활용
- 해조류 대량생산 시스템의 실용화를 통한 CDM 사업 대비 기반 구축

- 생산비 절감에 의한 해조류 양식으로 국가 경쟁력 제고
- 외해 해조류 대량양식 신기술 개발과 상용화를 위한 원천기술 확보 및 해외 기술 라이센싱
- 해조류 신품종의 개발로 유전자원 확보로 관련 산업 경쟁력강화 및 활성화
- 종묘 보존 기술 확보를 통한 종자은행 설립
- Phlorotannin 류의 높은 항산화성에 의한 항염증효과는 면역조절기능은 물론 뇌세포의 염증에 의한 치매 예방제로써의 활용이 가능하므로 해조류의 대량소비확대에 기여
- 해조류의 그린에너지화는 부분적인 기술에 의한 단기사업이 아니며 지금까지와는 다른 차원의 해조류 대량양식 기술과 해조류 중의 모든 유용성분들의 활용을 극대화 할 수 있는 통합적인 기술의 개발이 선행되어야만 산업적으로 성공가능함. 따라서 본 연구성과물은 해조류의 통합적 활용을 통한 에너지 및 유용물질의 제품화 로드맵으로 활용 가능

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 13
제 1 절 연구목적 및 필요성 ····· 15
제 2 절 기술의 종류 및 범위 ····· 19

제 2 장 국내외 기술개발 현황 ····· 23
제 1 절 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정 ····· 25
제 2 절 대량생산 기술개발 ····· 26
제 3 절 생산관리시스템 동향 ····· 55
제 4 절 건강신소재 개발 ····· 68
제 5 절 생물학적 전환공정 개발 ····· 75

제 3 장 해조류 바이오매스의 대량생산 ····· 79
제 1 절 해조류 양식종 및 적지 선정 ····· 81
제 2 절 외해 해면양성 및 생산관리 시스템 ····· 102
제 3 절 양식시설 환경 모니터링 ····· 137

제 4 장 해조류 바이오매스의 통합활용 ····· 199
제 1 절 건강신소재 개발 ····· 201
제 2 절 생물학적 전환공정 개발 ····· 241
제 3 절 난발효성 당류 대사형 재조합 미생물 개발 ····· 245
제 4 절 갯벌 유래 Metagenomic library로부터 알긴산 해조 다당체 분해
유전자 탐색 및 저분자 당원확보 ····· 261
제 5 절 부탄올 생산 균주 및 발효공정 개발 ····· 269

제 5 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 275

제 1 절 연구 개발의 목표 및 달성도 ····· 277
제 2 절 기술 구성 및 연계도 ····· 280
제 3 절 향후 계획 ····· 283

제 6 장 참고문헌 ····· 287

부록 ····· 297
A. 추진경과 일정표 ····· 299
B. 심포지엄 개최 결과 요약 ····· 300
C. 최종보고회 결과 요약 ····· 304
D. 연구성과물 ····· 306
E. 언론 홍보 ····· 321

제 1 장

연구개발과제의 개요

제 1 절 연구목적 및 필요성

제 2 절 기술의 종류 및 범위

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구목적 및 필요성

1. 연구의 목적

○ 바이오매스의 통합적 활용을 위한 지속가능한 해조류의 대량생산을 통하여 안정적 공급 ○ 외해 해조류 양식 기술 개발을 통한 해역의 입체적 이용 및 그린에너지 자원 확보 ○ 첨단융합기술을 접목한 해조류 대량 양식 기술의 개발을 통한 국가 경쟁력 확보 ○ 신재생에너지 의무할당제(RPS)와 탄소배출권(CER) 의무이행제도 대비에 따른 비식용 해조류로부터 그린에너지 확보 ○ 저탄소 녹색성장에 부응한 신재생에너지의 상용화 및 CDM 사업 적극 대처 ◯ 해조류의 통합적 활용을 통한 경제적 그린에너지 생산기반 구축 ◯ 해조류의 통합적 활용을 위한 구성성분 및 적용기술 특성 조사

2. 연구의 필요성

□ 고유가 및 기후변화에 대한 적극적 대응전략 마련 절실

- 화석연료 고갈에 대비한 대체에너지 개발 시급
- 국제적 기후변화에 대응하기위한 온실가스 감축의무 가시화
- 환경친화적이고 지속적 이용이 가능한 해조류 바이오매스 개발 필요

□ 저탄소 녹색성장을 새로운 국가발전 패러다임으로 선언

- 녹색성장은 온실가스와 환경오염을 줄이고 신성장동력과 일자리를 창출하는 『새로운 국가발전 패러다임』 (대통령 8.15 경축사)

□ 미래 한국경제를 이끌고 나갈 신성장동력 발표

- 신재생에너지를 17개 성장동력의 하나로 선정
  (대통령 주재 국가과학기술위·미래기획위 합동회의, 2009. 1. 13)

□ 저탄소 녹색성장을 위한 신재생에너지 보급 확대

- 향후 50년까지 신재생에너지 보급 비율을 20%까지 확대
- 임기 내에 원유 3,162만배럴 상당의 신재생에너지 생산(1.82%⇒3.3%, 지식경제

부, ‘30년 국가에너지기본계획, 2008. 8. 27)

□ 해조류가 제3세대 바이오매스로 부각

- 식용작물의 바이오연료화는 식량가격 상승의 원인이 되고 있으나 해조류의 경우 식량자원과는 경합이 되지 않음
- 해조류는 육상식물보다 발효당 함량이 적으나 단위면적당 생산성은 우수
- 우리나라는 3면의 연안과 배타적 경제수역 보유 (국토면적의 2.3배)
- 연간 90만톤의 해조류 생산력과 세계적 선두그룹의 기술력 보유

□ 해조류 바이오매스 국외관련 연구동향

- 미국 에너지부의 ARPA-E 프로젝트의 일환으로 Dupont사와 BAL 연구소는 해조류로부터 바이오부탄올 연구를 위해 DOE로부터 9백만달러 펀드를 조성 받았으며, 이로 인해 기존의 바이오디젤 뿐만 아니라 대형조류로부터 바이오알코올을 생산하기 위한 연구개발이 본격화되고 있음.
- 영국 스코틀랜드의 에너지부는 해조류를 이용한 “6백만유로 BioMara research project“를 착수하였으며, 2020년까지 운송연료의 10%를 대체하는 것을 목표로 하고 있다. BioMara사는 European Union’s INTERREG IVA Programme 등으로부터 약 4.9백만유로를 지원받아 기후변화대응 및 CO_2 감축을 위해 해조류 대량양식 및 바이오연료 개발 연구를 수행 중에 있음.
- 노르웨이의 Seaweed Energy Solutions as(SES)사는 트론헤임 앞 연안에서 파일롯 규모로 해조류 배양 시험연구를 수행 중이며, 50,000 ha 클러스터에서 15,000천톤의 해조류를 생산하여 바이오에탄올 32억리터(혹은 바이오메탄 20 TWh)를 생산할 계획에 있음.
- 네덜란드 Energy Research Center of the Netherlands (ECN)을 중심으로 2040년까지 네덜란드 북해 영해의 10%에 해당하는 5000 ㎢ 해조류 양식 및 이를 이용한 바이오에너지(에탄올, 메탄, 수소 등) 생산 계획 추진.

□ 해조류 바이오매스 대량생산에 의한 바이오 리파이너리 구축으로 경제성 제고

- 유용 금속, 산업용 활성소재 개발 등 부산물을 활용한 경제성 증대

□ 바이오매스용 해조류의 생산단가 절감을 위해 대량생산을 위한 기술개발이 필요함.

- 바이오매스 원재료로써 해조류 대량생산이 반드시 필요함
- 미국을 중심으로 일부국가(일본 및 중국)에서 대량생산 방법을 연구중에 있으나, 관련기술을 확보하지 못한 상태
- 식용과는 차별화된 바이오매스용 해조류의 대량생산을 위한 품종 개발이 필요

함.

□ 기존의 양식 시스템으로는 바이오에너지 생산용 바이오매스를 충당하기에는 양식장 면적이 절대적으로 부족하므로 새로운 양식적지를 개발할 필요성이 대두됨.

□ 과거 경험적 양식시설 위치 선정에서 벗어나 대량생산 및 주변 환경에 적합한 적지선정이 필수

□ 우리나라 연안 해역은 소규모 식용의 해조류양식 등으로 대량 생산을 위한 해양공간이 절대적으로 부족하여 외해의 넓은 공간으로 확대할 수밖에 없는 실정임.

□ 과거 경험적 식용해조류 양식시설 기술에서 탈피하여 공학적으로 타당하고 경제적인 대량 양식 시설 설치기술의 개발이 시급함.

□ 최근 식생활이 서구화됨에 따라 비만, 동맥경화, 협심증, 당뇨병 등의 여러 가지 성인성 질병에 대한 예방과 치료에 식물성 폴리페놀의 약리효과가 입증됨으로써 식물유래 저분자 화합물의 이용에 대한 관심으로 인해 많은 기능성 제품들이 개발되고 있으나, 해조류를 이용한 기능성 제품개발은 미미한 실정임.

□ 국내연안에서 대량 양식되고 있거나, 바이오에너지 대상 해조류로 가능성이 높은 다시마, 미역, 김, 톳 및 모자반의 전체 단당류 조성을 분석하여 향후 바이오에너지 생산에 요구되는 발효성 당류의 함량 분석이 완료되어야 바이오에너지 생산수율을 정확하게 계산할 수 있고, 차후 경제성 평가의 지표로 활용할 수 있음.

□ 바이오에너지 생산 과정 중 해조류의 물리적 및 화학적인 전처리 방법에 따른 당조성과 저분자 화합물들의 조성변화를 분석함으로써 알콜 발효를 위한 전처리 공정의 최적화가 필요함. 전처리 공정 과정에서 생성될 수 있는 발효 저해물질의 함량을 분석, 저해물질의 생성을 억제하는 방법을 도입하여 발효수율을 향상시킬 방안이 모색되어야 함.

□ 섬유소계 에탄올 생산이 지금까지 산업화되지 못하는 이유는 전체 에탄올 생산 공정에 있어서 섬유소의 당화가 차지하는 공정비용이 너무 높고, 당화수율이 낮아 바이오매스자원으로서 효과적으로 이용되지 못하고 있으며, 부생되는 분해물들이 에탄올 발효시 발효저해물질로 작용하여 아직까지 비경제적 요소로 남아있기 때문임. 해조류 역시 이러한 문제점들이 극복되어야만 해조류로부터 생산된 연료용 에탄올이 기존의 화석연료와 경쟁하여 대체 에너지로서의 역할을 할 수 있을 것임. 이를 위해서 해조류의 효율적 전처리/당화는 물론 유용성분들의 효과적 분별 및 회수가 선행되어야 함.

□ 해조류의 구성성분 및 결합 형태는 육상 바이오매스와 근본적으로 다르므로 해조류에 적합한 전처리/ 분별기술 개발을 통해 유용성분의 자원화 및 차세대 바이오연료생산에 기여할 수 있음.

□ 다양한 종의 해조류들은 각각 서로 다른 성분비, 결합구조, 반응성 등으로 인하여 전처리 조건 또한 다양해야 함. 전처리조건이 최적화 되어있지 못하면, 미반응 유용성분의 잔류물 또는 과잉반응에 의해 부생된 불순물들을 포함하게 되기 때문에 효율적인 당화 또는 발효를 수행할 수 없게 되므로 전처리 공정의 선별도 중요한 변수가 될 수 있음.

□ 해조류로부터 발효성 당을 얻기 위한 당화공정에는 화학적 방법과 생물학적 방법이 있음. 화학적 방법을 이용하면 비교적 쉽게 당화를 할 수 있다는 장점을 갖고 있으나 당화과정 중 대규모의 오염물질이 발생하며 이로 인해 당화율 및 발효수율의 저해가 초래됨. 따라서 당화 및 발효수율의 제고를 위하여 새로운 효소개발을 통한 당화공정의 개발이 필요함.

□ 또한 해조류의 에너지 효율성 향상을 위해서는 다당류의 저분자화 전환기술과 비발효당의 발효당으로 생물전환기술이 요구되며 이 공정에 요구되는 미생물 효소자원을 국내외 특허를 출원할 수 있는 미생물 효소자원 확보기술이 요구됨.

제 2 절 기술의 종류 및 범위

1. 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정

해조류 양식종 및 적지선정 분야에서는 외해에서 해조류의 연승식 대량양식이 가능한지를 구명하고, 외해에서 최적 양식 대상종을 선별하며 외해와 내만에서 해조류의 해역별 성장 특성을 파악하는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 남해 중부해역과 서부해역의 외양에 실험해역을 추가하였고 이를 통해 해역별, 품종별 단위면적당 양식생산성 조사, 품종별 적정 양식기법 조사 및 생산량 추정에 의한 새로운 대상종을 발굴하고자 한다. 이를 통해 바이오매스용 해조류의 대량생산 적지가 선정되면 해조류의 대량양식을 통한 바이오매스 생산기반을 구축하고, 해역별 대량생산 적지를 단지화하여 지속적이고 안정적인 생산체제 가동을 통한 원료 해조류의 안정적으로 공급 시스템을 개발함으로써 해조류 산업을 저탄소 녹색성장의 전략산업으로 육성하는데 있다. 또한 지속적인 기술개발을 통해 해조류 바이오매스의 연중생산 시스템을 개발, 구축함과 동시에 부수적으로는 해조류의 생산해역별 성분조사, 환경친화적이고 지속적 생산과 이용이 가능한 해조류 생산시스템의 개발 및 잠재양식 가능 수면적의 활용을 통한 해조류 바이오매스 생산단지를 클러스터화 하는데 있다.

2. 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발

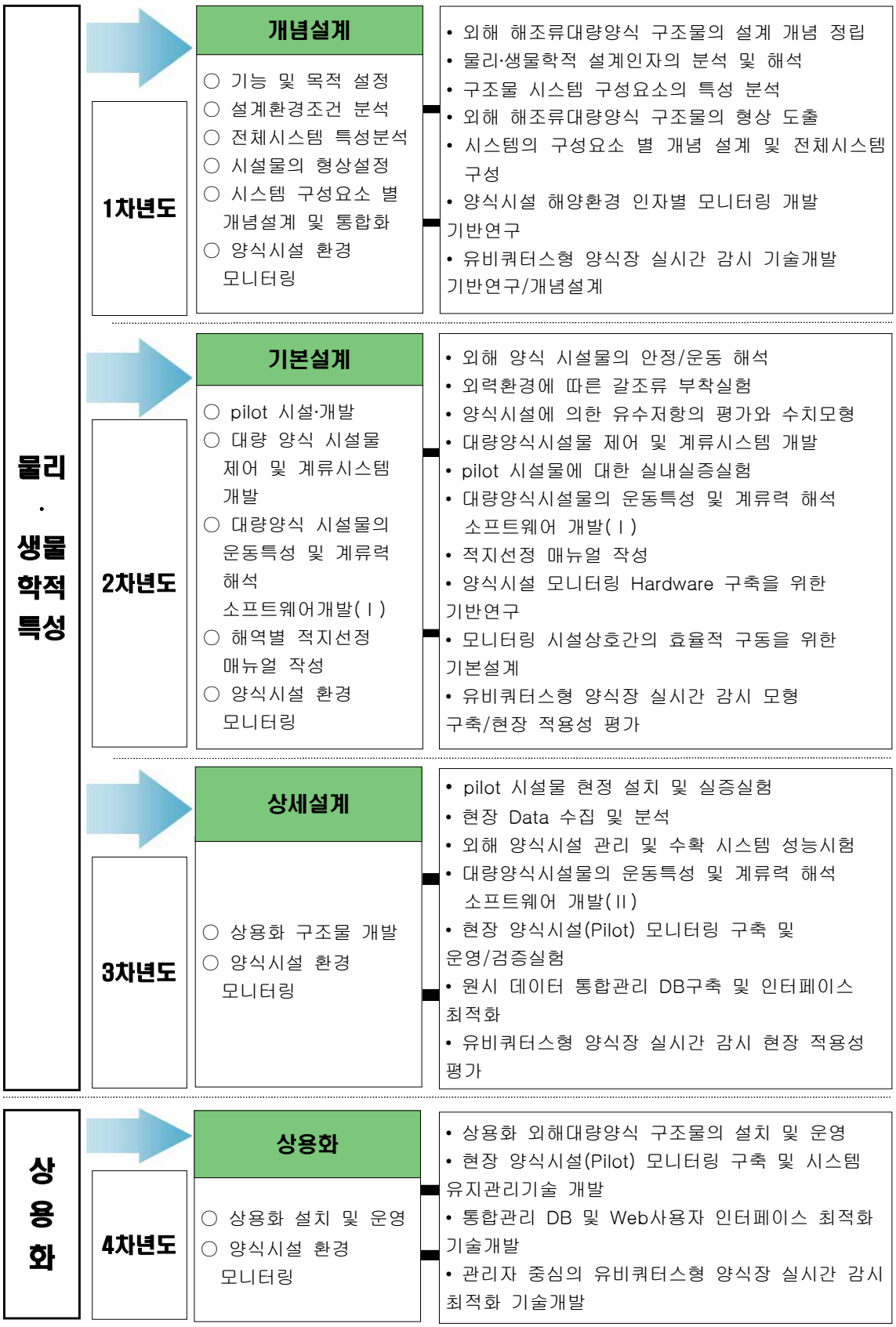
본 연구는 저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위한 해조류의 대량생산 기술 개발의 개념설계를 정립하는데 그 목적이 있다. 이를 위한 세부 연구 방법은 ① 대량양식시설의 기능 및 개발 목적을 설정, ② 물리·생물학적 설계인자의 분석 및 해석을 통해 외해 대량양식시설의 설계환경 및 조건 분석, ③ 천해 양식구조물 시스템 구성요소의 특성분석을 통해 외해 해조류 대량양식 구조물의 최적 형상 도출, 최종적으로 ④ 외해 대량양식 구조물 시스템의 구성요소별 개념 설계도를 도출하는 것이다.

이와 더불어 해조류 대량생산(양식) 시스템 구축에 따른 저비용 · 고효율의 채취 및 이송시스템에 필요한 필수요소를 정리하고 극한 환경조건에서도 일정한 시간동안 목표 채취량을 달성하기 위한 채취 기술의 개발, 높은 효율의 수송에너지 소비를 저감하는데 목표(대량-대형선박 or 연속-컨베이어 벨트)를 둔 해조류 이송 시스템 개념 설계를 수행한다.

또한 외해라는 특성상 채취된 해조류를 육상으로의 전처리 시설로의 이송과정에서 발생가능한 다양한 문제에 대응하기 위해 해상에서 임의 전처리하는 과정을 포함하는 기술개발이 요구되고 있다. 이러한 전처리 과정은 해조류를 바이오 에너지로 만들기 위해 해조류를 섬유소, 해조류 다당류, 단백질, 기타 부산물 등으로 분해하는 것을 말한다.

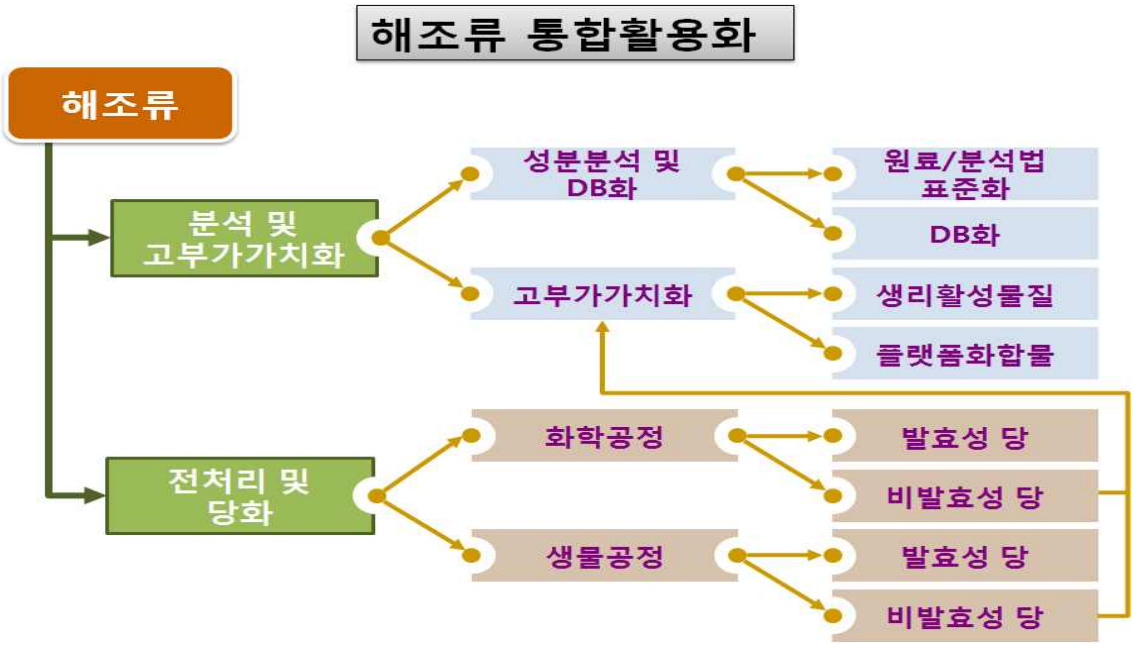
마지막으로 해조류 외해 대량생산 시스템의 구축은 지속적이고 안정적인 생산구조를 유지하기 위해서는 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발이 요구되고 있으며, 이는 기본적으로 시설 구조물의 안정성과 해조류 생산 및 채취, 이송 과정의 효율성 극대화를 포함하는 기능성 확보가 담보되어야 하며 이를 목적으로 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 외해 해조류 대량양식 시설의 환경모니터링 시스템을 설계하고 이를 개발하고자 하는데 목적을 두고 있다.

상술한 내용을 바탕으로 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발추진 전략을 모식화하면 다음 [그림 1-2-1]과 같다.



[그림 1-2-1] 해조류 대량생산 기술 및 생산관리 시스템 개발의 범위.

해조류 바이오매스의 통합활용을 위해 건강 신소재 개발 및 생물학적 전환공정 개발 등으로 불류하고, 각 기술별 경쟁력 있는 세부기술들을 통합하여 최종적으로 경제성 있는 공정을 도출하고자 한다.



[그림 1-2-2] 해조류 바이오매스의 통합활용화.

제 2 장

국내외 기술개발 현황

제 1 절 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정

제 2 절 대량생산 기술개발

제 3 절 생산관리시스템

제 4 절 건강신소재 개발

제 5 절 생물학적 전환공정 개발

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 바이오매스용 해조류 양식종 및 적지 선정 동향

1. 국내 연구동향

우리나라의 해조류 양식은 인조 18년(1640년) 광양만의 태인도에서 전남 영암사람 김여익에 의해 시작된 김 양식이 그 시초이다. 이후 1964년 국립수산과학원의 전신인 국립수산진흥원에서 미역 인공종묘 배양 및 양식 기초시험을 수행하였고[1], 이어서 미역 종묘생산 및 성장상황에 관한 연구[2]를 시작으로 미역양식에 대한 연구가 본격적으로 이루어졌다. 이를 계기로1967년 어업인 방현호에 의해 상업적인 미역양식이 처음으로 이루어지면서 대형갈조류의 대량양식이 시작되었다. 대형갈조류인 다시마는 한해성 해조류로서 우리나라의 원산만 이남 해역에서는 서식하지 않았던 해조류로 중국의 청도 부근의 난해역에서는 1953년경부터 양식이 이루어졌던 해조류이다. 국내에서는 1967년 국립수산진흥원에서 일본 북해도로부터 애기다시마(*Saccharina religiosa*) 모조를 들여와 실내채묘와 인공종묘배양을 통해 생산한 종묘를 동해 남부해역인 울산 방어진 연안에서 처음으로 양식[2]을 한 것이 그 시초로 이때부터 다시마의 종묘배양 및 양식에 관한 연구가 본격적으로 시작되었고[3-7], 양식 대상종도 애기다시마 뿐만 아니라 다시마(*Saccharina japonica,* 통상 참다시마로 알려짐)로 확대되어 동해안의 삼척[4]과 남해[7]에서 본격적인 양식이 이루어진 후 전국 연안으로 보급되게 되었으며, 지금은 남해안의 완도, 해남을 비롯 서해안의 백령도와 흑산도에서도 양식이 이루어지게 되었다. 이후 다시마는 광온성종으로 남해의 일부해역을 제외한 대부분의 우리나라 연안에서 관찰할 수 있게 되었다. 다시마는 성장속도가 빨라 종묘입식 후 약 4개월이 지나면 8-9m정도로 성장한다. 이후 최근에는 바다숲 조성용 종묘로 사용하기 위해 쇠미역[8], 곰피[9,10], 감태[11,12], 모자반[13,14]의 종묘생산 및 양식이 이루어지게 되었는데 감태와 곰피의 경우 기능성 물질을 추출하기 위한 용도[15] 및 양식전복의 대체먹이[16]로 수요가 증가하게 되었고 모자반의 경우 식용으로 인기도 높고 수요도 증대하여 대량양식이 이루어지게 되었다[17].

2. 국외 연구동향

최근 일본 응용조류학회에 발표된 연구보고에 의하면 아오모리켄의 산업기술센터에서는 일본 바이오수소 주식회사와 공동으로 양식 해조류를 이용한 가스발전 연구결과

를 발표한바 있고[18], 시마네켄 에서는 본 연구에서도 적용한 방법 가운데 하나인 수직연승에 의한 양성시험을 보고하고 있다. 이 방법은 2개의 참다시마 품종을 5m 길이의 수직연승에 삽식한 후 연승 10개를 20㎝, 40㎝, 80㎝ 및 100㎝간격으로 수평연승에 매달아 밀도에 따른 다시마의 생장이나 생산성을 비교하여 보고하였다. 이 밖에도 다시마목 해조류인 *Lessonia*에 대한 대량양식기술개발이 이루어지고 있으며[19], 일본, 유럽연합, 호주 등에서 미세조류 및 해조류를 이용한 바이오에너지 분야의 연구개발이 집중되고 있다. 이 밖에 일본에서는 곰피가 포복지로 번식한다는데 착안하여 포복지를 이용한 곰피양식기술 개발과 이를 이용한 바이오에너지 연구를 활성화 하고 있다. 미국 등에서는 대형켈프류 가운데 생산성이 뛰어난 마크로시스티스와 다시마류의 양식기술 개발이 이루어지고 있고, 원형 플라스틱 파이프를 활용한 종묘생산 방법 등을 고안하고 있다.

제 2 절 해조류 대량생산 기술개발 동향

1. 해조류 대량생산

해조류는 일차 생산자로서 바다에서 서식하는 해산식물의 한 부류이며 조류중 육안적인 크기로 대형조류 또는 바닥의 기질에 붙어서 사는 저서성 조류라고도 부른다. 최근 바이오매스로서 해조류에 대한 관심이 높아지고 있다. 해조류는 육상식물의 경우처럼 식량문제를 촉발시키거나 산림자원의 경우처럼 자원을 고갈시키는 문제점을 극복할 수 있는 유망한 바이오매스로서 기대되고 있는 자원이다. 우리나라는 해조류 양식기술 및 생산량 측면에서 세계 4위 수준의 인프라를 보유하고 있어 국제경쟁력에서 우위에 있는 것으로 평가받고 있다. 하지만 해조류 바이오매스 산업화 측면에서는 기술 수준이 실험연구 수준에 있어 실용화 단계에 이르지 못하고 있는 것이 현실이다. 해조류 바이오매스를 이용하여 산업화를 달성하기 위해서는 우선적으로 바이오매스 대상이 되는 수율이 높은 해조류를 개발하고 이의 대량 생산시스템이 정비되어야 할 것이다. 해조류 대량 생산을 위한 기본방향은 다음과 같다.

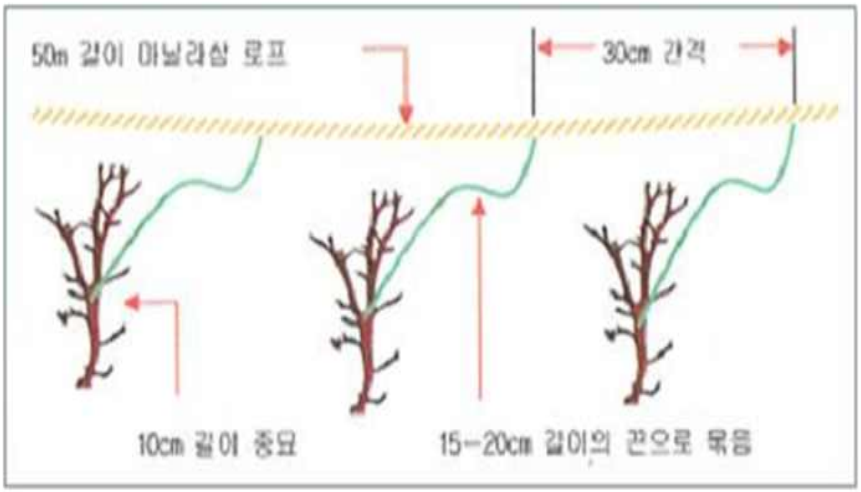
첫째, 산업화 대상 해조류의 성장 및 수율을 높일 수 있도록 선발 육종 기술을 개발해 나간다. 특히 우리나라 수역의 사계절 수온을 극복할 수 있는 경제성 높은 산업화 해조류의 육종 개발이 필요하다.

둘째, 국내 연안의 해조류 양식 가능량을 검토하고 대량 양식기법을 확립하고 외해로 양식어장의 확장 가능성을 분석한다. 또한 대량 양식된 해조류의 회수를 자동화 할 수 있는 시스템을 확립한다.

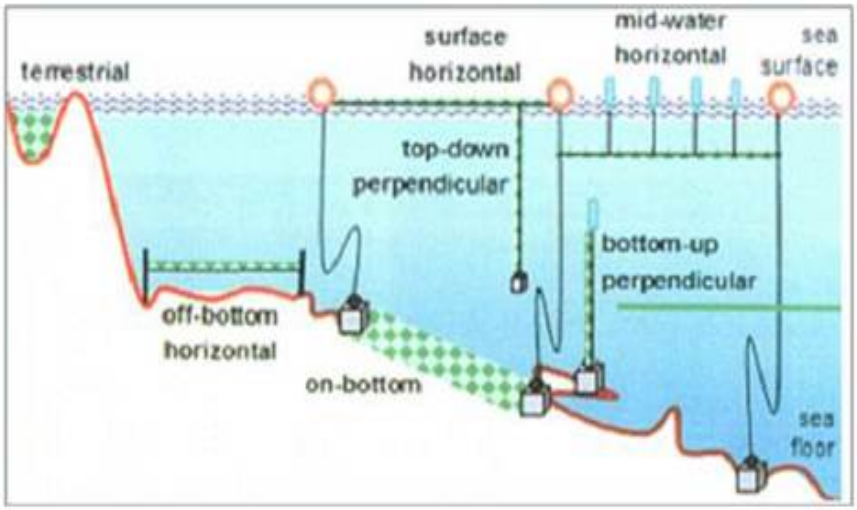
셋째, 해조류 양식 방식을 기존의 농동집약적이고 전통적인 2D 양식에서 연근해

및 외해에서도 가능하도록 부류식 등의 3D 양식시스템으로 전환할 수 있는 기술 개발을 실시한다.

넷째, 해조류 식용과 분리하여 바이오산업용으로 해조류 양식장을 새롭게 개발한다. 즉 기존의 연안에는 식용의 해조류를 양식해 나감으로써 종래의 해조류 수급을 안정시키고, 이와 별도로 바이오산업용 해조류를 외해에서 생산되도록 적지 조사 부류식 양식시스템 개발 등을 통해 적지 양식장을 개발해 나간다. 마지막으로 산업화 해조류의 성장률이 높은 양식 적지로 알려져 있는 동남아, 아프리카 등 해외의 양식어장을 적극적으로 개발, 확대해 나간다.



[그림 2-2-1] 2D 해조류 양식 시스템.



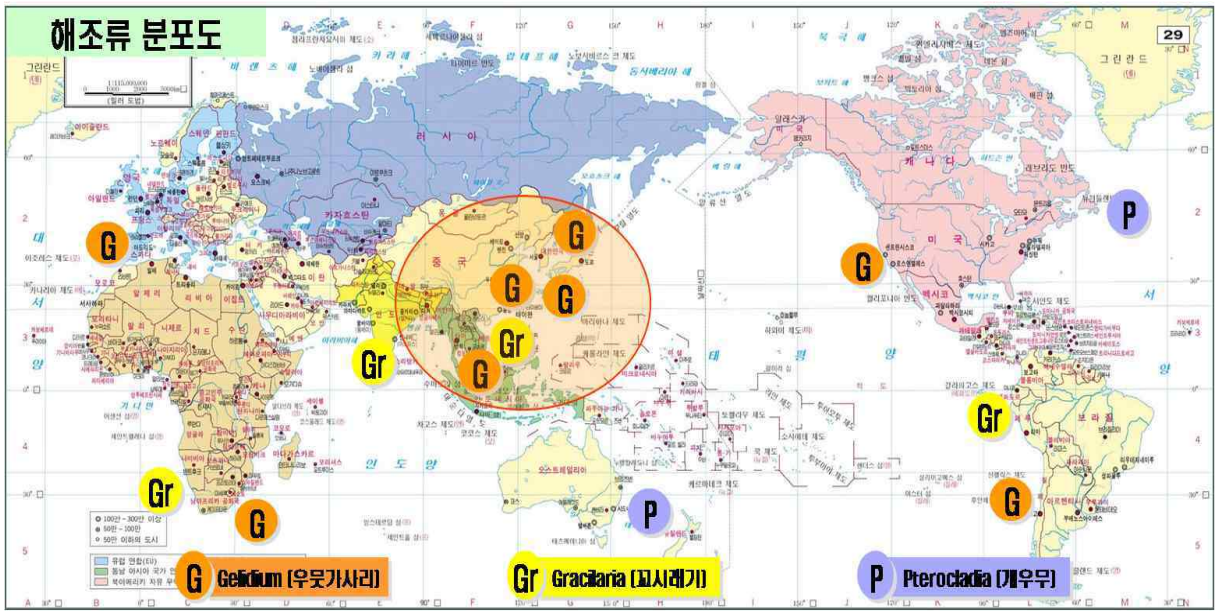
[그림 2-2-2] 3D 해조류 양식 시스템.

2. 바이오매스용 해조류 대량 양식 기술

가. 정의

조류(algae)는 현미경으로 관찰 가능한 미세조류(microalgae)로 부터 우리가 일반적으로 식용으로 섭취하는 미역, 다시마 등의 대형조류(Macroalgae)로 구분할 수 있다.

전세계에 분포하는 조류의 종수는 약 4만여종으로 알려져 있으나 Norton et.al.(1996)에 의하면 이보다 4~8배 정도 많은 기록되지 않은 종들이 존재할 것으로 보고되어 있다. 우리나라에 분포하는 해조류 자원은 녹조류 98종, 갈조류 166종 및 홍조류 489종 등 총 753종이 분포하고 있다. 현재 인간이 이용하고 있는 해조류의 종수는 약 500여종에 이르며, 이중 양식이 이루어지고 있는 종은 약 20여종에 불과하다. 이들의 세계적인 분포는 [그림 2-2-3]과 같다. 세계에서 가장 중점적 으로 양식이 이루어지고 있는 분류군은 5개속(Genus)에 국한되고 있으며 이는 홍조류에 속하는 김속(Porphyra)유큐우마속(Eucheuma) 및 꼬시래기속(Gracilaria)과 갈조류에 속하는 다시마속(Laminaria)및 미역속(Undaria)이다(Kain2003).



자료: 한국생산기술연구원 발표자료, 2008

[그림 2-2-3]산업적으로 중요한 해조류의 세계 분포.

해조류를 양식하는 이유는 자연자원으로부터 채취되는 양만으로는 그 수요를 충족시킬수 없기 때문이다. 바이오매스로 이용하기 위한 해조류 대량양식은 다음의 세가지를 고려대상으로 하여야 한다. 첫째, 어떤 종을 대상으로 선정할것인가? 둘째, 대량양식이

용의 할것인가? 셋째, 경제성이 있는 생산단가에 도달할 수 있을 것인가? 이 사항을 고려하여 바이오매스용 해조류 대량생산기술 개발에는 다음을 들 수 있다.

○해조류 양식 원천기술 개발

- 바이오매스용 해조류의 생태학적 기초연구
- 해조류 종묘생산, 양성기술 개발 및 품종연구

○바이오매스 생산 자동화 기술개발

- 해양환경 및 기상정보의 DB화 연구
- 내파성 해조류 양식 및 양식 원격조정 기술개발

나. 주요 성능지표 도출

바이오매스 대량확보를 위한 해조류의 적정 대상종 선정의 기준은 생장율,당함량, 양식의 용이성, 양식 생산성, 환경적응성, 지속가능성, 경제성등의 기준을 종합하여 선정하여야 한다.

(1) 생장율

해조류의 생장은 열대지역과 같이 계절의 변화가 없는 지역에서는 연중 생장이 가능하나 온대지역에서는 계절성을 가지게 되며, 최대 엽장이 종류에 따라 [그림 2-2-4]에서 보는 것처럼 크게 달라진다. 따라서 해조류가 양식되는 지역의 환경특성에 따라 최대 생장시까지 1회의 양식어기 또는 1년을 기준으로 한 생장율을 대상 해조류종의 생장율로 삼아야 한다.

[그림 2-2-4] 해조류 종류별 엽체의 크기 비교.

(2) 당 함량의 기준

[그림 2-2-4]를 보면 해조류는 종에 따라서 최대생장시 엽체의 길이가 수 미터에서 수 센티미터에 불과하기도 하다. 그러므로 각 종의 특성에 따라 해조류 엽체의 습중량을 기준으로 한 당의 함량을 정확히 판단하여야 하며 이 기준으로 바이오에너지 생산을 위한 해조류 종을 선정하는 기준을 삼아야 한다.

(3) 양식의 용이성

해조류 대량배양 방법이 까다롭거나 포자방출 및 채취가 매우 제한적이라면 대량 종묘생산 및 양식에 직접 이용하기가 어려우므로, 생활사의 조절이 용이하고 포자의 양이 많은 종류일수록 대량배양이 유리하다. 또한 양성과정에서 시설물의 관리가 수월하고 수확, 건조, 운반 등의 과정 관리가 수월하여야 한다.

(4) 양식 생산성

대량 배양시 해조류의 단위면적당 생산성이 높아야 한다. 해조류 양식을 수행할 수 있는 양식장 면적은 대개의 경우 한정적이므로 양식 적지에서 단위면적당 생산성이 높은 종류를 선택해야 한다.

(5) 환경 적응성

해조류는 각각의 종별로 최적생장을 위한 적정 수온, 염분, 영양염 농도 조건 범위를 가진다. 최근의 지구온난화에 따른 수온 상승과 관련하여 적정 수온의 내성 범위가 넓은 종일수록 환경적응성이 뛰어난 특징을 가진다고 할 수 있다. 또한 단일 해조류 품종의 대단위양식이 이루어지는 지역에서는 질병 감염시 치명적인 피해를 입을 수 있게 되므로 질병에 대한 내병성이 높은 품종을 선택하여야 한다.

(6) 지속가능성

해조류는 그 특성에 따라 일년생과 다년생으로 구분된다. 미역과 같은 일년생 해조류는 매년 새로운 종묘를 채묘해서 양성후 수확해야 하는 특성을 가지며, 모자반과 같은 다년생의 경우는 1회 채묘 및 시설로 다년에 걸쳐 수확이 가능한 특징을 가지고 있다. 따라서 지속 가능한 바이오매스의 채취차원에서 다년생 해조류가 일년생에 비하여 수년에 걸쳐 지속 가능한 이점을 가지고 있다.

(7) 경제성

현재 이루어지고 있는 해조류 양식 방법 중에서도 파래나 매생이의 경우에서 보

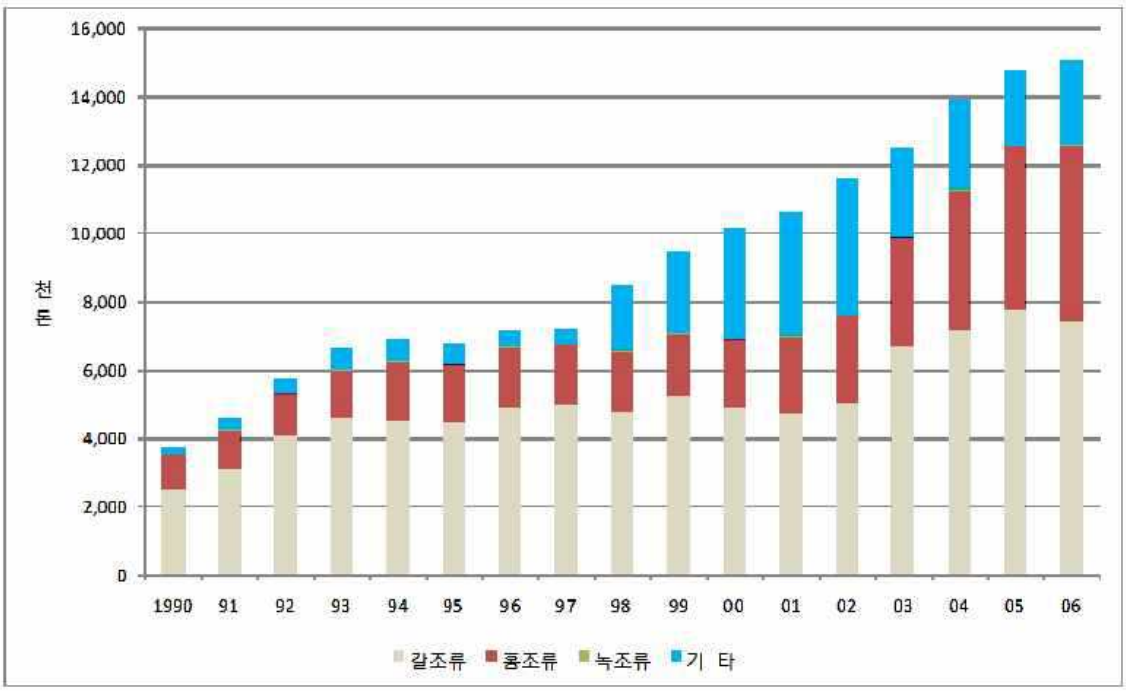
이듯이 자연적으로 발생하는 포자를 채묘하는 자연채묘의 방법을 통해 양성후 채취하는 방법을 사용하고 있다. 이는 자연채묘 방법이 이들 종에 있어서는 인공채묘에 비하여 경제적이기 때문이며, 이러한 채묘, 양식시설 및 수확 방법 등이 대상종의 특성에 따라 다르게 적용하므로써 바이오매스 생산 자체의 경제성을 도모할 수 있다.

3. 외국의 기술 동향

가. 세계 해조류 생산 동향

현재 세계적으로 약 200종의 해조류가 이용되고 있고 주로 녹조류에 속하는 홀파래류, 일파래류와 홍조류에 속하는 김속, 유큐우마속, 카파피쿠스속, 꼬시래기속 그리고 갈조류에 속하는 다시마, 미역이 생산되고 있다. 해조류의 생산량은 연간 1,500만톤이며 그 중에서 다시마, 미역, 김이 가장 많은 비중을 점하고 있다.

세계 해조류 생산량 추이를 보면 1990년에 370만톤에서 1995년 670만톤, 2000년에는 1,000만톤, 2005년 1,400만 톤, 2006년 1,500만톤으로 지속적으로 증가하였다[그림 2-2-5]. 2006년 기준으로 해조류 생산량은 갈조류가 740만 톤, 홍조류가 510만 톤, 남조류 등의 기타 조류는 240만 톤이다.



자료 : FAO 홈페이지[20]

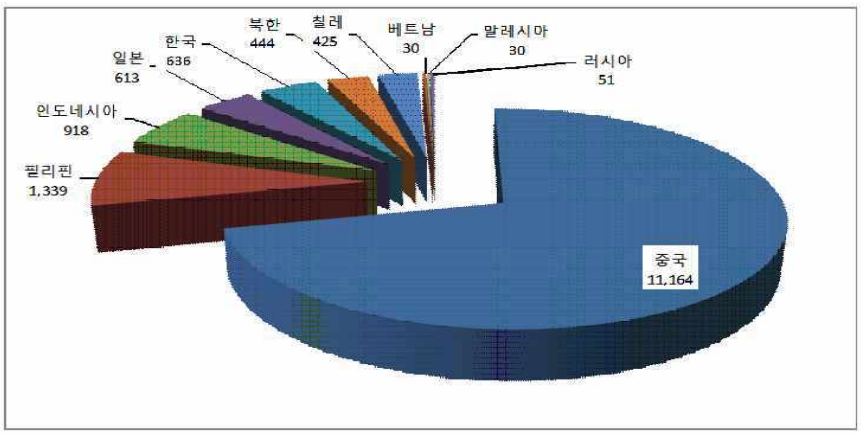
[그림 2-2-5] 세계 해조류 생산량.

2005년 기준으로 세계 해조류 나라별 생산량은 [그림 2-2-6]과 같다. 2005년 중국이 전세계 71.2%에 해당하는 1,100만 톤의 해조류를 생산하고 있다. 주된 생산 품목은 다시마, 미역, 꼬시래기류, 김, 톳, 파래, 우뭇가사리의 순으로 전 세계에서 다시마를 가장 많이 생산하고 있다.

2위인 필리핀은 8.5%에 해당하는 130만 톤의 해조류를 생산하고 있으며 해조류를 식용, 한천 생산용 카라기난 생산용, 알긴산 생산용으로 양식된다.
주된 품종은 식용은 Caulerpa lentillifera, C.recemosa(녹조류 옥덩굴 일종)와 Gracilaria(홍조류 꼬시래기 일종)가 있고, 한천은 Gracilaria, Gelidium Pterocladia와 Geladiella, 카라기난은 유큐우마 종류인 K. alvarezii 와 E. denticulatum, 알긴산은 모자반류로 양식한다. 이들 양식 방법은 얕은 연안에 엽체 조작을 양식장 바닥에 뿌리거나 부상대 혹은 양식 로프에 끼워 재생되는 엽체를 수확한다.

인도네시아는 5.9%로 92만톤의 해조류를 생산하는 나라이다. 상업적으로 양식되는 종은 Eucheuma, Gracilaria, Gelidium Hypnea, Sargassum 등 이 있다. 양식방법은 필리핀과 유사하다.

한국은 4.2%로 64만톤의 해조류를 생산하며, 그 다음으로는 일본이 3,9%로 61만톤의 해조류를 생산하고 있다. 일본에서 생산하는 품종은 김, 다시마 미역 순이다.



자료 : FAO 홈페이지[20]

[그림 2-2-6] 나라별 해조류 생산량(2005).

나. 세계 해조류 생산 기술

해조류를 생산하는 나라는 주로 중국, 필리핀, 한국, 일본, 그리고 인도네시아 등의 아시아 국가들이다. 이들 국가에서 해조류의 생산은 대부분 노동집약적인 조방적 양식에 의존하고 있다. 그리고 서구에서는 미국, 캐나다, 프랑스, 독일, 네덜란드 등이 대규

모 해조류 재배시설을 통해 생산하고 있다. 해조류 양식의 상업적 성공에서는 서구나라들이 뒤지고 있다. 그러나 서구에서는 계속적인 시도가 있었으며 수많은 양식실험들에 대한 기록 사례들만 해도 나머지 국가들에서 이루어진 일들의 3배나 된다. 중요한 요인 중 하나는 역사이다. 아시아 국가들의 문화에서 해조류를 포함하는 해산물에 대한 의존도는 매우 폭넓게 자리잡아왔다. 자연자원의 감소에 따라 양식은 점차 필수적인 요소가 되어가고 있다. 서구나라에서 식용 해조류에 대한 수요는 매우 적어서 자연자원량만으로도 쉽게 충족될 수 있었다. 반대로 서구나라들에 거주하는 많은 아시아 사람들뿐만 아니라 그들의 식이문화는 서구인들에게도 동화되고 있어 앞으로는 높은 수요가 예측된다.

(1) 미국

1970년에서 1980년대의 오일파동 기간중에 새로운 대체 에너지원을 찾기위한 일환으로 해양 바이오매스로부터 대체 천연가스 생산의 기술적, 경제적 타당성을 검증하는 대규모 프로젝트를 시작하였다. 미국 서부 연안에서 갈조류인 마크로치스티스(Macrocystis pyrifera)를 대상으로 하여 최초로 시도되었다. 당시로서는 다소 엉뚱하게 보일수도 있는 한 연구제안서에 의해 미국 서부 연안에서 강철과 로프로 만들어진 거대한 우산과 같은 형태의 구조물을 이용해서 Macrocystis를 양식하려 했었다. 불행하게도 기술자들과 생물학자들 사이의 원활한 의견교환이 이루어지지 않아 성숙한 엽체가 물의 움직임에 따라 구조물의 위 아래로 움직일 때 단단한 기질에 마모되어 부러지고 떨어져 나갔다. 또 다른 양식 구조물들이 설치되었으나, 지속적으로 사용된 것은 없다.

미국의 플로리다에서는 탱크 양식 시설이 만들어져 홍조류 꼬시래기(Gracilaria sp.)를 대체에너지원으로 배양하였다. 1981-1985년까지 '생체량으로부터의 에너지 생산'을 테마로 유럽위원회가 연구비를 지원했다. 이는 Isle of man에서의 갈조류 양식계약을 포함하고 있었으며, 다소의 진전이 있었다. 양식은 성공적이었으나, 누구도 다시마를 천연가스의 원료로 이용하는 것을 심각하게 고려하지 않았다. 다시마류를 이용하여 영국에 천연가스를 공급하기 위해서는 [표 2-2-1]의 계산에 따르면 상당한 양식 면적을 필요로 한다. 다른 각도로 보면 많은 수의 양식 인력을 필요로 한다. 당시 현지의 기술로서 한사람이 경작할 수 있는 해역의 면적은 1ha의 양식장이었다. 그러나 영국의 인구 절반을 위한 천연가스 생산을 위하여 다시마류 양식장이 수만ha가 필요한데 이는 당시로서는 경제성이 없는 결과였다. 에너지 경제학상 다시마 양식을 에너지 생산에 이용하려는 시도 이전에 어떤 극적인 기술적 변화 또는 진전이 필요하다는 결론에 도달하였다. 이러한 연구결과가 완전히 시간낭비라는 것을 의미하지는 않는다. 반복적으로 제기되는 문제들을 통해 일단 기술력이 확보되면 생산물로부터 얻어지는 결과가 경제적인 규모 이상으로 바뀔 수 있다는 것이다. 현재로서는 유럽이나 미국 등지에서 에너지 생산을 위한 생

체량의 양식은 이루어지고 있지 않다. 플로리다의 연구과제는 현재에도 계속되고 있으나 생산된 해조류는 양식 어류와 연체동물의 사료로 판매되고 있다. 반면에 뉴욕의 다시마 프로젝트는 단지 학문적인 관심에 의하여 수행되었으며 연구책임자인 Bud Brinkhuis의 갑작스러운 죽음으로 인하여 더 이상 Long Island Sound 에서의 허가를 받는 일이 어려워진 탓에 중단 되었다. 영국의 Isle of man에서 이루어진 프로젝트는 처음에는 양질의 알긴산 생산을 목적으로 하였으나 후에 식용으로 소비하기 위한 업체 생산을 목적으로 바뀌었으며, 이후 생산이 중단 되었다. 심지어 전복의 먹이로 해조류를 이용하는 것이 해조콜로이드 추출을 위한 생산보다는 많은 돈을 벌수 있었다.

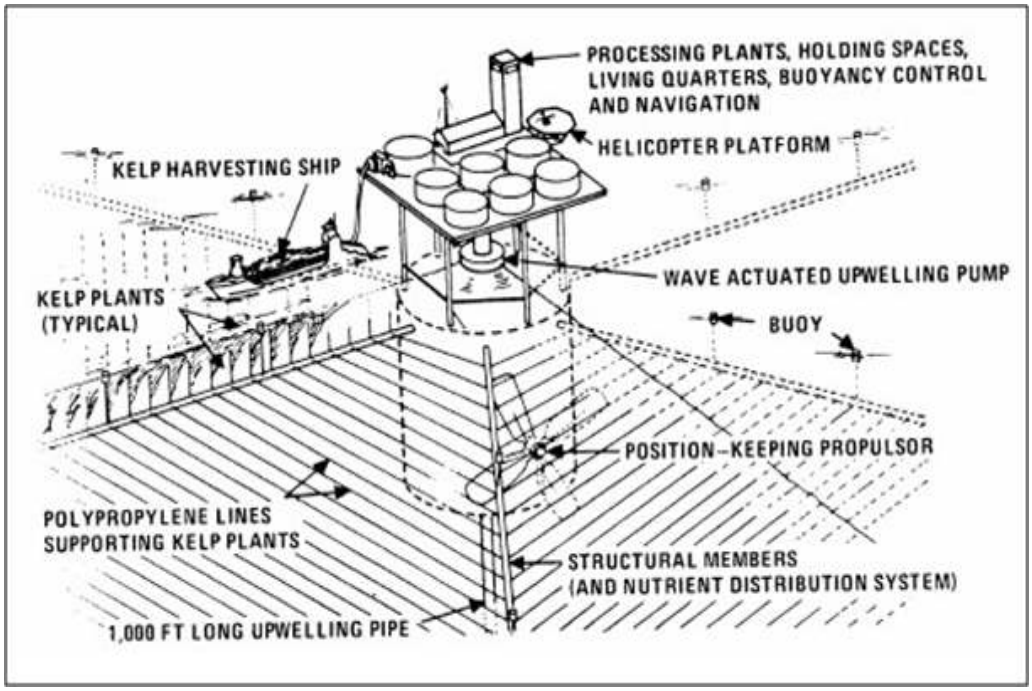
[표 2-2-1] 영국에 총 천연가스 소비량에 대한 양식생산량 계산

천연가스 생산량 1,129 BTU/cu ft = 331/28.3=11.69 Wh/l*
Laminaria saccharina 는 490l/kg의 volatile solids(VS)를 생산
VS=건중량당 89%일때 =생중량의 9.26%(Chynoweth et al., 1987)
따라서 45.4l/kg-fresh wt.=530Wh/kg-fresh weight
영국의 총 천연가스 소비량 : 2000 기준 1.033×10^{12} Wh
Laminaria saccharina 생중량 1.95×10^{9} 톤이 필요
양식생산량 : 70톤/ha(Druehl, 1988)
28×10 ha = 280,000 ㎢ 필요함 = 1.1×영국의 육지면적
* 1BTU = 1,055J = 0.2931 Wh

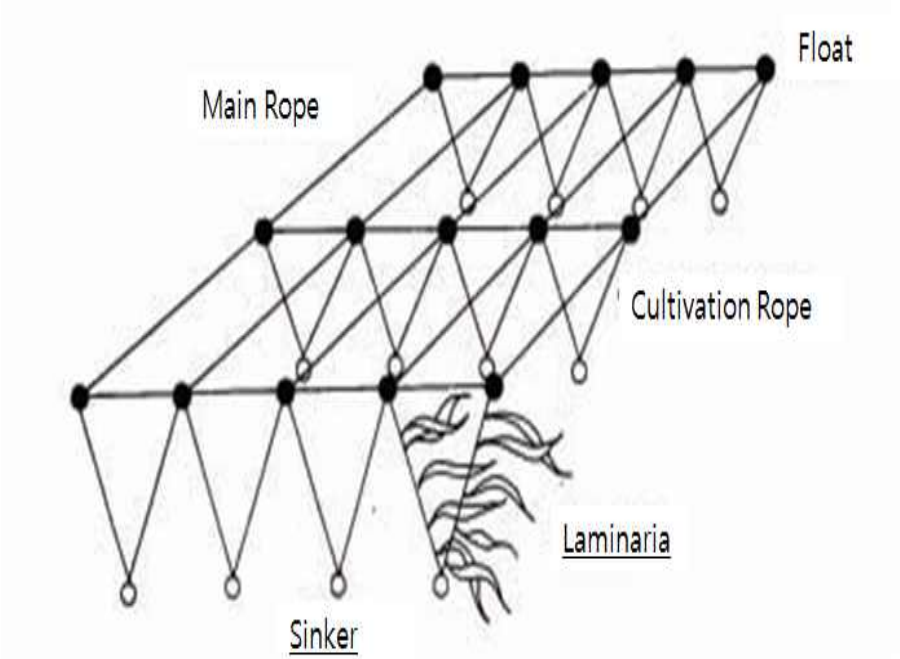
한편 미국 해양 대기국 (NOAA)에서는 National Marine Fisheries Service(NMFS)와 National Sea Grant College Program(NSGCP)를 통하여 수산, 양식과 경영과 연안관리에 적절한 방법을 찾고 어떻게 바다의 생물자원을 인간이 이용할것인가에 대한 비전을 제시하고 있다. 바다 생태계의 안정화는 국가차원에서 논의될 뿐만 아니라 National Marine Aquaculture Initiative(NMAI)와 같은 연구 프로그램으로 계획되고 지원되고 있다. 특히 해양에서의 양식과 자원조성에서의 영양단계(trophic level)에 대한 연구 프로그램으로 해양생물과 환경과의 관계를 중요하게 고려하고 있다.

대규모 해조류 재배시스템은 넓은 바다를 활용한 자유부유배양시스템

(free-floating cultivation system)을 활용하여 생산하고 있다. 그러나 이러한 방법은 해조류 재배를 위해 사용 되는 줄이 엉켜서 닻과 부표의 유실 같은 문제가 있고 아직까지 상용화 되지 않은 기술이라는 단점이 있다.

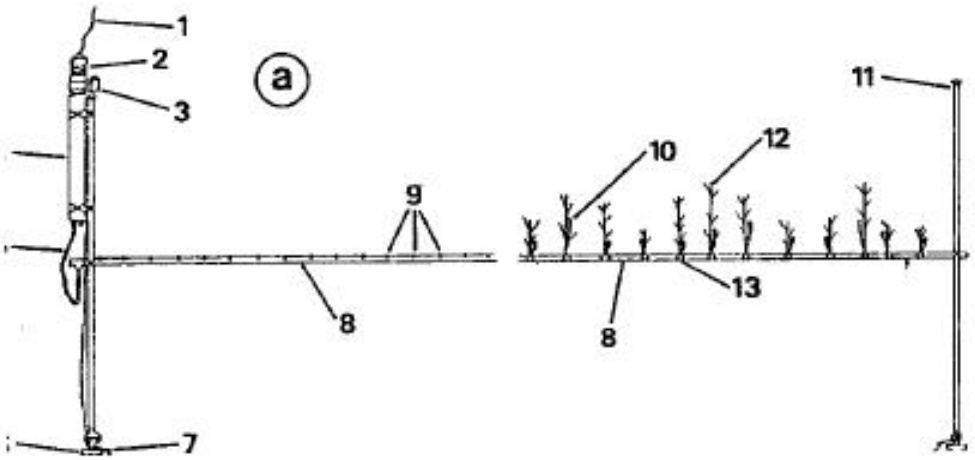


[그림 2-2-7] 해양식품과 에너지팜의 개념설계[21].



[그림 2-2-8] 다시마 양식 시스템[21].

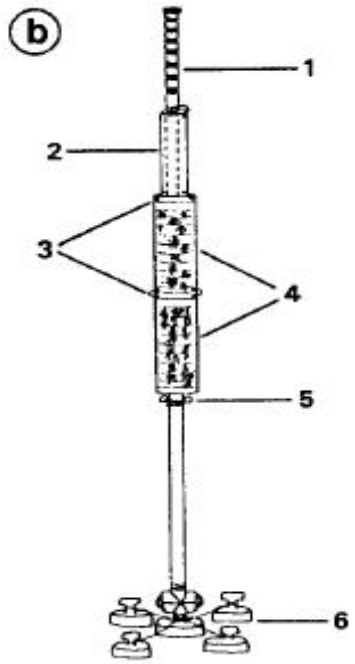
또한, 우뭇가사리(Gelidium)의 종의 대량생산을 위해 미국 캘리포니아 산타바바라 대학에서 시험 재배를 하였다(1979-1981). 농장은 H, I, 그리고 Z형을 설계하여 시험되었다. H형 디자인[그림 2-2-9]은 가로 6m의 파이프와 설비 기판으로부터 정박된 3m 길이의 수직 기둥을 고정시켜 연결 하였다.



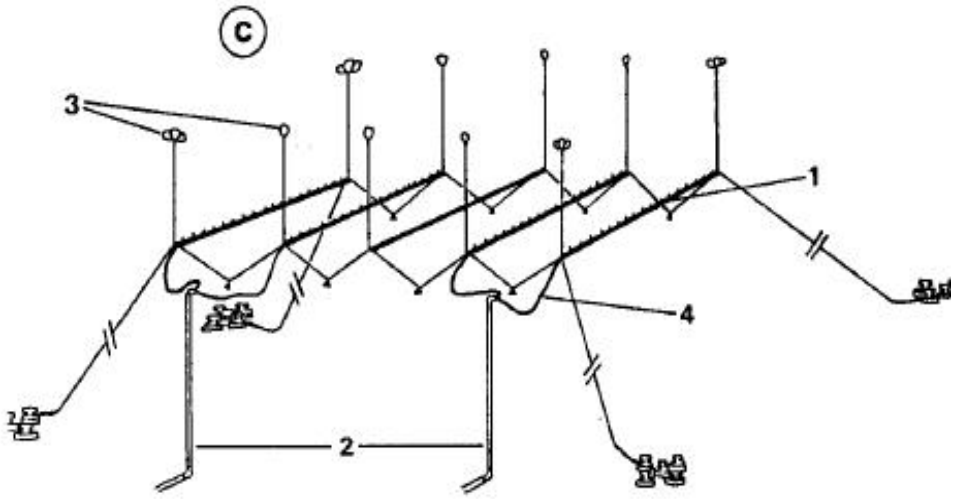
[그림 2-2-9] H 형 양식구조.

디자인의 I형 농장[그림 2-2-10]은 부력을 유지하기 위해 파이프의 뚜껑의 상단과 기둥 기지에 맞는 봉인된 T형 기둥을 같이 만들어진 단일 기둥형 부이이다. 이 기둥은 이중벽의 파이프 조각과 같이 묶여진 연속 또는 주름진 파이프 조각과 같은 긴 슬리브를 미끄러지게 하였다. 농장은 주름진 파이프 주위의 Gelidium 해조류을 심은 로프를 감쌌다. 설비와 유지는 보트에 있는 인부 또는 다이버들에 의해 수행 될 수 있다. 또한 슬리브에서의 해초 성장은 보트로 부터 잠수할 필요 없이 연결 로프와 함께 슬리브를 표점으로 당김으로써 회수될 수 있다.

Z형 구조는 부유물 표면 옆 표면으로부터 3m아래를 떠받치고 있는 수평파이프 가로장 배열과 같은 로프 사다리를 구성한다[그림 2-2-11]. 측면 로프 줄들은 측면에서 보여질 때 Z형과 같은 형태를 주기 위해 가중되어진다. 이 부유체와 체중 카운터 밸런스 시스템은 파도가 지나갈 때 마치 아코디언처럼 늘어나고 수축된다.



[그림 2-2-10] I 형 양식구조.



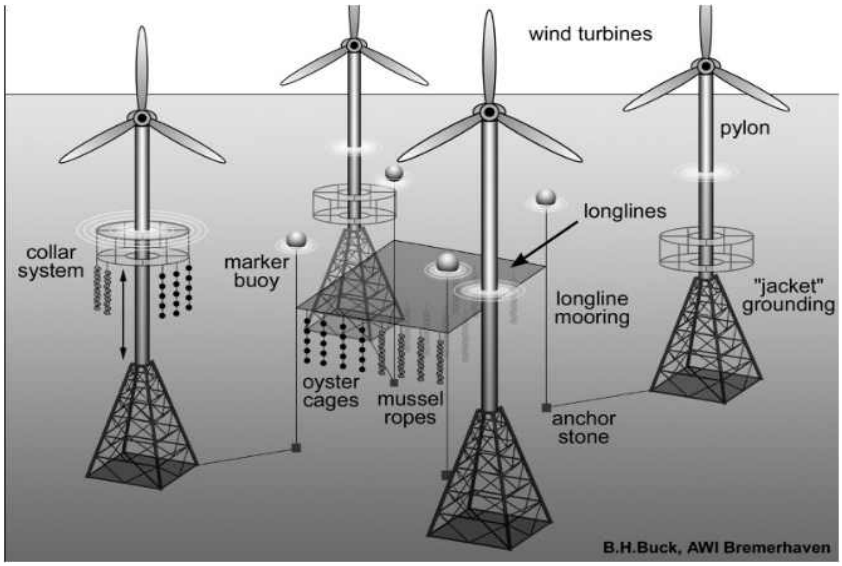
[그림 2-2-11] Z 형 양식구조

(2) 네덜란드

최근 네덜란드에서는 미국의 해양조류 프로그램, 프랑스와 독일의 연구를 토대로 연근해 풍력발전 기지를 활용한 해조류 생산시스템을 연구하고 있다. 풍력 발전 사이의 Longline 구조로 해조류를 대량 양식 할 계획을 세우고 있다. 이 시스템의 최대 장점은 외해에서 환경보호와 관광산업, 어업 및 풍력에너지를 한꺼번에 이용할 수 있다는 것이다. 효율적 해조류 재배를 위한 연근해 풍력기지의 이용은 계류하기 용이 하고 배가 지

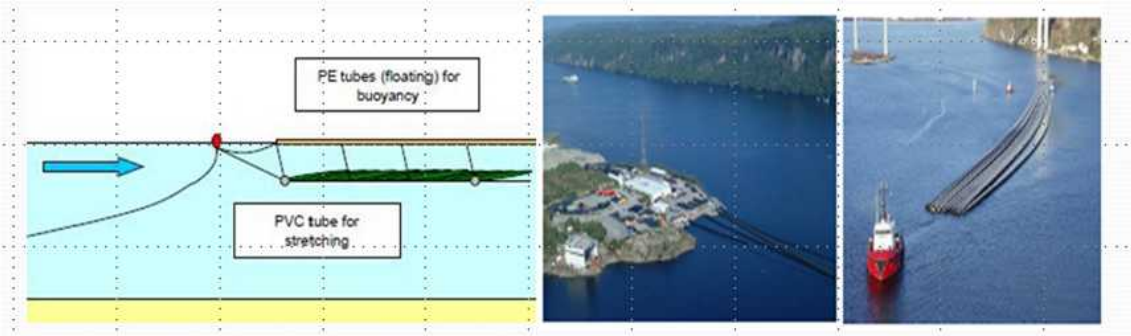
나지 않아 유실될 걱정도 없으며 재배 면적이 넓어 대량생산이 가능하지만 수확에 있어서 노동집약적이고 기술 개발이 완전치 않다는 문제가 있다

또한 부유식 구조로 해조류의 대량생산을 제안 하였다. 이 생산 시스템은 해조류의 확산을 방지하기 위해 경계지역을 정하고 그 안에서 해조류를 대량으로 생산하는 방식이다. 생산의 비용이 상대적으로 낮아 대량생산에 용이하며 실시간 모니터링이 가능하다. 네덜란드 정부는 해조류 생산과 바이오에너지를 얻기위해 PE-Pipe로 경계를 정하고 대규모로 해양농장을 건설 중이다. 이 구조물의 경제적인 크기는 적어도 1000㎢이 되어야 한다. 하지만 이 구조물은 파도와 태풍에 영향을 많이 받아 위치적인 제약조건이 있다.



[그림 2-2-12] 풍력발전 기지를 활용한 해조류 생산시스템.

[그림 2-2-13] 부유식 시스템.



[그림 2-2-14] Pe-pipe를 이용한 해조류양식.

[표 2-2-2] 네덜란드 생산시스템의 장단점

System	Advantage	Disadvantage
풍력발전을 활용한 해조류 생산 시스템 (windfarm-mariculture system)	양식 계류에 용이하다. 배가 지나지 않아 유실이 없다. 재배면적이 넓다.	채취 및 이송이 어렵다. 기술 개발이 필요하다.
부유식 시스템 (Bouned floating structure)	양식의 이동이 가능하다. 작은비용으로 생산이 가능하다.	조류와 파도에 약하다.

(3) 독일

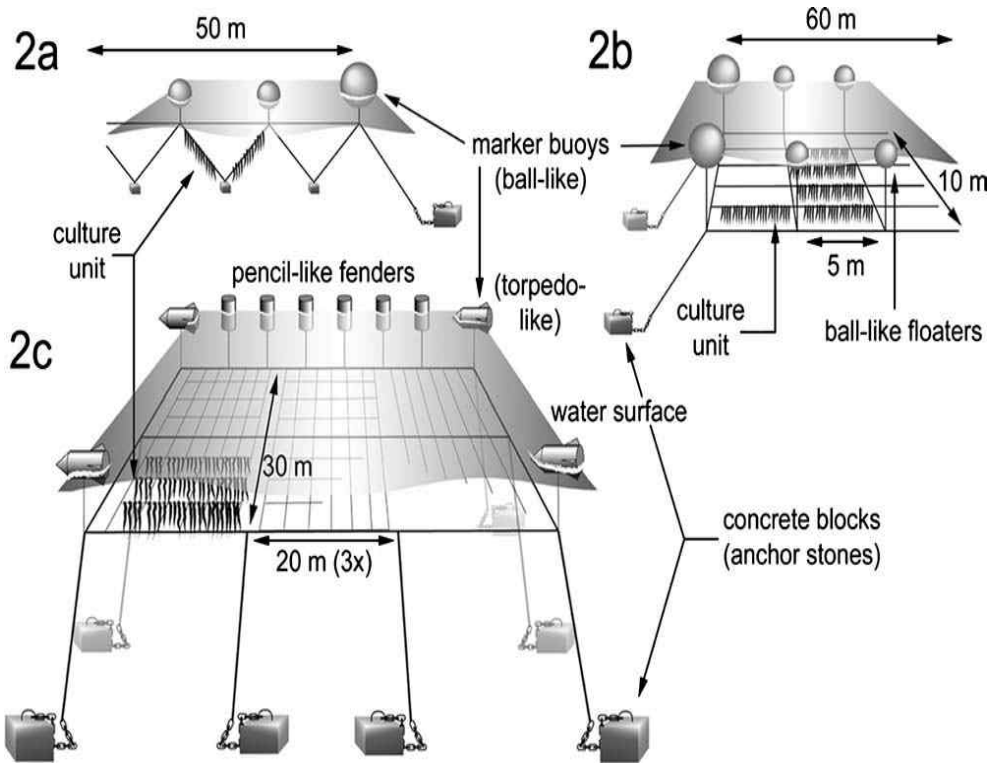
독일 에서는 외해양식기술을 개발하는 중이다. 가장 적합한 양식 시스템을 찾기 위해 longline, ladder, grid, ring 형태의 4가지의 재배시스템이 설계되었다. 안전한 계류를 위해서 2.5, 4, 4.5톤의 콘크리트 블록을 사용하였다. ladder, grid 양식시스템은 조류의 흐름과 평행하게 설계 되도록 하였으며, marker buoys는 재배시스템 로프에 연결하여 충분한 부력을 주기위해 설치하였다.

longline 구조[그림 2-2-15-2a]는 길이 50m의 길이이며, 2점 계류로 로프를 고정하고 있다. 로프를 직각으로 고정하기위에 2.5kg의 블록을 설치하였다. 이 방법은 Kain과 Dawes(1987)에 의해 성공적으로 사용되어졌다.

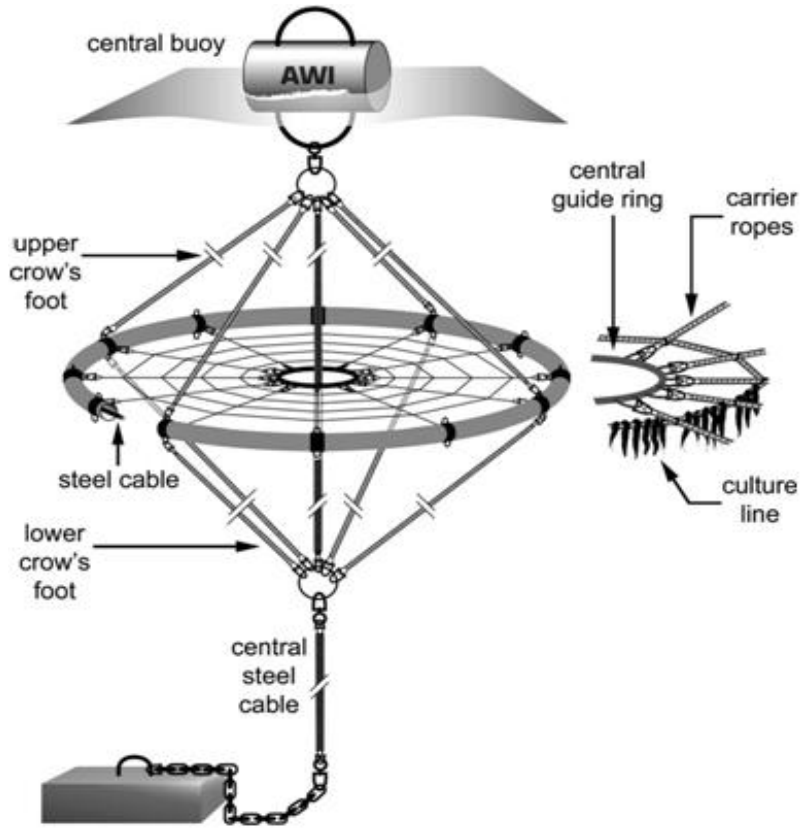
ladder 구조[그림 2-2-15-2b]는 60m×10m 크기로 설계하였으며, 수심1m 아래 설치하였다. 24개의 1kg 콘크리트 블록이 있어 생산로프를 고정하고 전체 구조물을 4.5t의 블록을 4점계류로 지지하고 있다. 5m단위로 재배 면적을 구분 하였다. 이 ladder 구조에서 grid 구조로 발전확장되었다.

grid 구조[그림 2-2-15-2c]는 60m×30와 깊이 1.2m 아래 설치하였으며, 10개의 2.5~4톤의 콘크리트 블록으로 계류하였다. 이 구조물에 사용된 로프는 'Herkules'라는 로프로 일반적으로 상업적인 어업에 사용되는 로프이다. 이 로프는 6종류의 강철가닥으로 만들었다. 일반 로프보다 무거워 바닥에 가라앉기 때문에 하중을 주는 지점에서의 손상을 줄여 주는 장점이 있다.

ring 구조물[그림 2-2-16]은 직경 5m이며, 110mm 직경의 폴리에틸렌 튜브로 구성되어 있다. 튜브 안에 강철 케이블을 삽입하였다. 이 케이블을 corow's foot에 연결하여 1.2~1.5m의 깊이에 구조물을 고정하였다. ring 구조물은 거친날씨와 빠른유속에도 잘 견뎌 내었다. 링 구조물을 해안으로 견인하여 수확하거나 보트기반 크레인으로 직접 수확할 수 있다. 그러나 수확하는데 있어 견인 비용이 매우 높아 경제적인 측면에서의 접근 필요하다. 모든 양식 구조물의 공통적인 중요한 기능은 재배 라인의 깊이를 조절하는 것이다. 1~1.5m를 유지해야만이 Par를 방지하며 자외선 손상을 막으며 충분한 빛으로 활발한 광합성을 할 수 있다.



[그림 2-2-15] Longline, Ladder, Grid 구조 모식도[22].



[그림 2-2-16] Ring-형의 양식구조물[22].

[그림 2-2-17] 크레인을 이용한 Laminaria 수확.

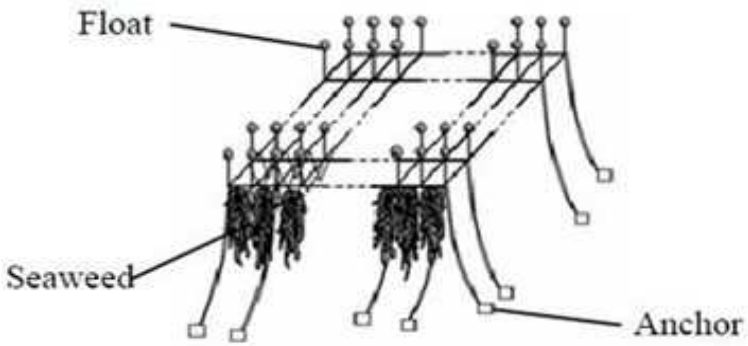
[표 2-2-3]은 각 구조물의 장점과 단점을 비교분석 한 것이다. long-line 구조는 연안에서의 해조류를 생산해 왔다. 하지만 외해에서는 높은 파고, 조류, 바람에 의해 안정성이 보장 받기 힘들다. 그러나 이점으로는 적은 비용으로 생산이 가능하다는 것이다. 링 구조의 단점으로는 생산 단가가 높다는 점이 있지만 궂은 날씨에도 구조물이 잘 견딜 수 있기 때문에 외해에서의 생산이 가능하다. 따라서 외해의 해조류 대량생산을 위해서는 외해의 조건에서 견딜수 있는 구조물의 디자인 설계와 해조류 생산단가의 절감이 필요하다.

[표 2-2-3] 독일 생산시스템의 장단점

System	Advantage	Disadvantage
long-line system	생산단가가 싸다.	안정성이 낮다. 해조류의 유실이 있다.
ladder, grid system	생산단가가 싸다.	구조물의 비용이 비싸다.
Ring structue	구조물의 안정성이 높다. 수확이 쉽다.	생산 단가가 비싸다.

(4) 일본

일본은 해조류에서 바이오 에탄올을 생산하기 위해 해조류 대량생산에 대한 계획(The ocean Sunrise Program)를 추진하고 있다. 바이오 에탄올을 해조류인 모자반에서 생산하기 위해 일본 교토부립 해양센터와 미쓰미시 종합연구소, 도쿄해양대 등 연구그룹이 동해에 거대 양식장 건설을 추진하고 있는데, 이러한 거대 양식장 건설을 통해 가솔린 소비량의 3분의 1에 해당하는 바이오에탄올을 생산할 계획이다. 이 방안은 곡물가격 상승으로 인해 바이오에탄올 생산원가가 증가하는 것에 대비할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 거대 양식장 건설을 위해 교토부립 해양센터는 2001년부터 동해에서 모자반 양식을 실시해왔으며, 미쓰비시종합연구소 등은 건조시킨 파래 100g 당 30ml의 에탄올을 생산함으로써 바이오에탄올을 양산화의 길을 열었다. 양식장 건설 예정지는 독도 북동쪽에 펼쳐져있는 해저섬으로서 비교적 수심이 낮은 야마토다이 주변으로 시코쿠 지역의 2분의 1 크기로 양식장을 건설할 예정이다.

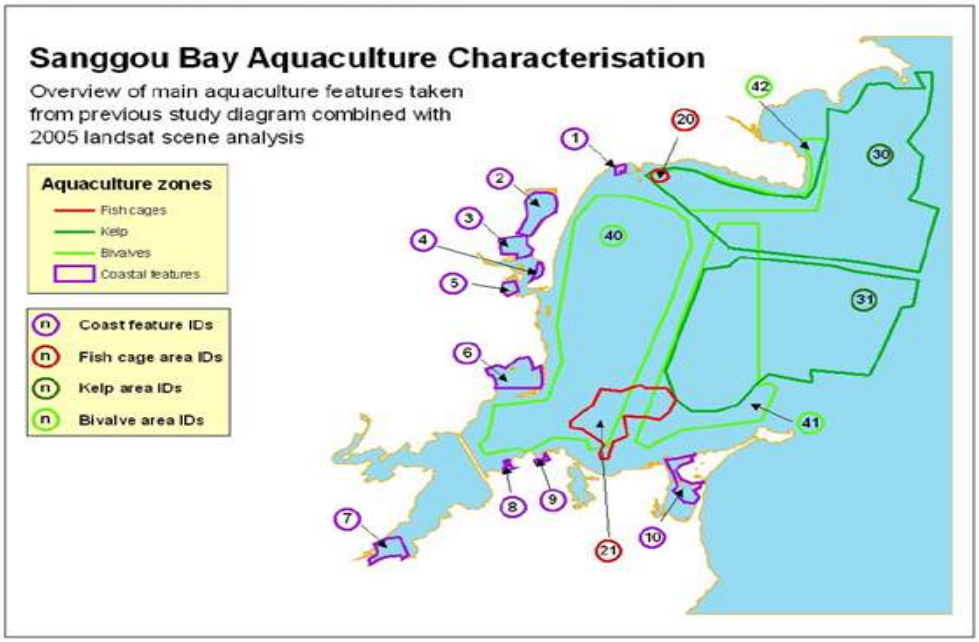


[그림 2-2-18] 해조류 바이오매스 대량양식 개념도[23].

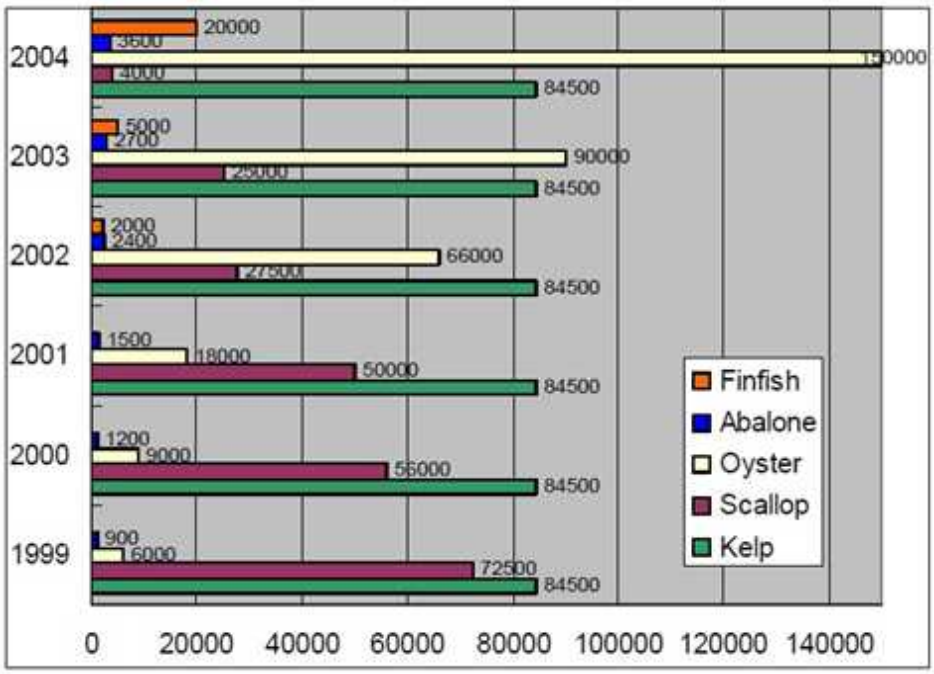
(5) 중국

중국은 세계에서 가장 큰 영역에서 해조류 생산하는 나라이다. 중국의 남동쪽에 반원모양에 상구만이 있는데 이곳에서 long-line 방법으로 대규모로 해조류를 재배, 생산하고 있다. long-line 시스템은 재배로프를 늘여서 평행하게 하여 띄우는 형식이다. 그리고 수면에서 1~2m 깊이를 유지해야 한다. 상구만(sanggou)의 해조류 및 어업등 이용은 [그림 2-2-19]에서 볼수 있다. 어업생산 영역은 450mu, 다시마생산영역은 50,000mu 어패류생산 영역 40,000 mu로 구성되어 있다(mu=800㎡).

이것은 전체 생산면적의 1%가 어류, 55%가 해조류, 44%는 패류이며, 그 가치는 해조류가 2,200RMB/ton, 패류는 600RMB, 어류는 40,000RMB이다.



[그림 2-2-19] 상구만의 해조류 생산영역.



[그림 2-2-20] 연도별 품종 생산량(year/ton).

[그림 2-2-20]은 각각 품종에 대한 년도별 생산량을 보여 주고 있다. 다시마는 매년 84,500톤을 생산하고 있으며 굴의 생산량은 매년 늘어나고 있다. 중국에서는 해조류의 대량생산을 위해 해조류의 생산능력, 변화를 측정하기위해 수질을 평가하고있다. 수질은 기본적으로 물의 체류시간에 의해 결정된다. 수질은 FjordEnv모델을 사용하여 측정되었다. 계산결과 상구만의 물특성은 물의 선명도와 허용산소가 높은 것으로 나타났다. 이것은 인접한 바다쪽에서 개방되어있어 빠른 물 교환이 이루어 졌기 때문이다. 상구만은 해조류의 성장과 재배에 적합한 해양환경조건을 보이고 있다.

이처럼 중국은 해조류가 잘 자라는 물리적 환경(물과 물질의 교환으로 인한 체류시간, 수온, 염분)상태를 확인 연구하고 있으며, 장기간에 걸친 고수온 내성을 가진 다시마 종 개발 중에 있다.

4. 국내의 기술 동향

가. 국내 해조생산 동향

우리나라 해조류 생산은 15세기부터 시작된 오랜 역사를 가지고 있고, 2006년을 기준으로 세계 제 4위의 다양한 해조류를 생산하고 있는 나라이다. 해조류의 생활사는 너무나도 다양하기 때문에 양식 기술은 해조류의 분류군에 따라서 달라질 수밖에 없다. 해조류는 생활사에 따라 크게 세대교번을 하는 해조류(김, 미역등)와 반복적 영양재생을

하는 해조류(꼬시래기, 모자반 등)로 구분된다. 또한 해조류의 생활사는 품종마다 다양하기 때문에 해조류 생산기술은 해조류 종류에 따라 다르다. 우리나라는 이들 해조류 생산기술이 확립되어 있고 세계적인 수준이라고 알려져 있다. 2006년도를 기준으로 국내 천해양식 생산량은 총 126만톤이며 이 중 해조류 양식 생산량은 76만 5천톤으로서 전체 천해양식 생산량의 60.7%를 차지하고 있다[표 2-2-4].

국내 해조류 양식면적은 2002년 전체 해조류 양식면적은 69,209ha에서 2006년에는 74,757ha로서 2006년에는 2002년 대비 8.02%가 증가하였다[표 2-2-5]. 전체 양식면적 중에서 김양식면적이 전체면적의 74%를 점유하고 있고, 미역 및 다시마가 각각 8%를 점유하여 이들 세 품목이 전체 양식면적의 90%를 차지하고 있으며, 파래, 톳 등과 같은 기타 해조류는 약 10%를 점유하고 있다. 양식면적 분포를 품종별로 세분하여 보면, 미역 양식면적을 제외하고 김, 다시마, 파래, 톳, 모자반 등의 양식 면적이 증가추세에 있는데, 특히 다시마, 파래, 톳, 모자반 등의 양식면적 규모는 뚜렷한 증가추세를 보이고 있다. 2002년 대비 2006년의 변화추이를 보면 김은 2.02%, 다시마 313.52% 파래 476.89% 톳 198.34%, 모자반 117.65%가 증가한 것으로 나타났다. 이 중 가장 두드러진 증가추세를 보이고 있는 품목은 파래와 다시마로 각각 4.8배 및 3.2배 증가 하였다.

[표 2-2-4] 천해양식 생산량 변화 추이 (단위 : 톤)

구분	2002	2003	2004	2005	2006
계	781,519	826,245	917,715	1,041,074	1,259,274
어류	48,073	72,393	64,476	81,437	91,123
갑각류	1,403	2,324	2,426	1,399	1,683
패류	212,433	291,036	304,889	326,255	391,060
해조류	497,557	452,054	536,748	621,156	764,913
기타	22,053	8,411	9,176	10,827	10,495

자료 : 해양수산부 어업생산통계,2007

[표 2-2-5] 해조류 양식면적 변화추이 (단위: ha)

구분	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년
합계	69,209	68,062	69,348	69,503	74,757
김	54,012	53,136	52,749	51,894	55,101
미역	11,576	11,421	8,019	5,873	5,740
다시마	1,487	1,440	3,484	5,283	6,149
파래	411	393	1,481	2,130	2,371
우무가사리	0	0	0	0	0
톳	1,570	1,523	3,446	4,001	4,684
갈래곰보	0	0	0	0	0
모자반	153	149	169	228	333
기타	0	0	0	94	379

자료 : 농림수산식품부 홈페이지, 어업생산통계시스템

[표 2-2-6] 해조류 양식의 어장시설 기준

양식 종류	양식 방법	양식 품종	어장수심	어장구역 한계		어장간 거리
				어촌계 (수협)	개인	
수하식 양식	건홍식 지주망홍 부류망홍	김, 파래, 매생이	7m 이내 40m 이내	1ha 이상	1~20ha	200m 이상
	연승식	미역,다시마,톳,파래,갈래곰보,기타	30m이내 (부산,울산, 강원,경북) 40m이내 (제주)	1~20ha	1~20ha	100m 이상
바닥식 양식	투석식 천해	돌김,우뭇가사리, 꼬시래기, 기타	30m 이내	1~30ha	1~20ha	200m 이상

자료 : 어업면허의 관리등에 관한 규칙

또한 우리나라의 해조류 생산의 경우 양식 품종에 따라 양식 방법과 시설 기준이 정해져 있다. 해조류 양식은 제도적으로 면허어업에 속하며 양식종류, 양식방법, 어장 수심, 어장 구역, 어장간 거리 등이 확립되어 있다[표 2-2-6]. 이러한 해조류 양식의 어장시설 기준을 추정한 이유는 양식어장 과밀 이용에 따른 생산성 하락 및 어장 환경 보호, 이를 통한 어업경영의 안정성 확보 등을 고려하였기 때문이다.

나. 최근 동향

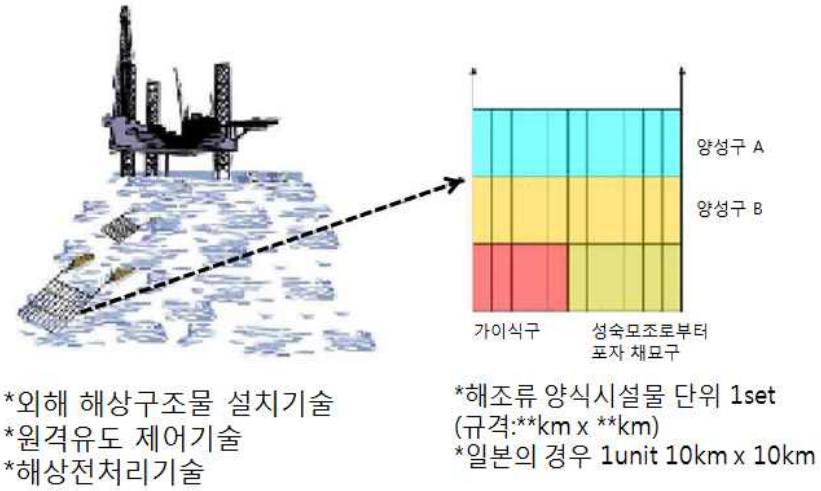
1999년에 제주대학교에서 “친환경적인 해조양식(Environmentally friendly Marine Seaweed Aquaculture)“ 심포지엄을 개최하여 미국, 일본, 러시아의 학자들과 우리나라의 조류생태 및 양식학자들이 모여 친환경적인 바다의 해조양식에 대해 토론하였으며 이는 바다를 관리하는 기초개념으로 활용되고 있다. 2000년에는 영남대학교에서 ”21세기, 해양환경과 해양생물자원의 전망〃이라는 주제로 바다자원으로서 조류의 이용성을 극대화하기 위한 방안에 대해 토출하였다. 2002년에는 한국해양대학교에서 “해양생물자원의 개발과 전망(Development and prospect of marin bioresources)“에 대해 국제 연구자들간 교류와 토론이 이루어졌다. 현재 국립수산과학원이 거대조류의 양식기술 개발 및 연구에 중점을 두고 있으며, 동해특산다년생 해조류 대량생산 기술개발, 배우체 분리 및 보존기술 개발, 바다숲 조성기술 및 양식장 설계 기술보유, 다시마 선발육종, 해조류 원형질체 분리 및 융합기술 개발, 홍조류인 김의 선발육종 및 종보존기술 개발이 진행중이다. 정부는 2020년 바이오매스용 해조류를 연간 1억2,500만톤 생산하고, 여기서 16억6,000만 l 의 바이오에탄올을 뽑아낸다는 로드맵을 갖고 있다. 국내 휘발유 소비량의 13.7%를 해조류 바이오에탄올이 대체할 수 있을 것이라는 추산이다. 해조류 양식장 면적도 50만ha에 달할 전망이다. 바다숲을 조성하고 해조류 바이오매스 확보 및 활용기술 개발을 지원하기 위해 2020년까지 3,653억원을 투자한다는 계획이다. 그러나 해조류 바이오매스 개발은 넘어야할 산이 많다. 바이오매스용 해조류 후보군 선정부터 대량양식, 에너지화에 필요한 원천기술등을 시급히 확보해야 한다.

다. 대량 생산 장애요인

(1) 집중적 연구

해조류 대량양식을 통한 바이오매스 확보를 위한 기술수준은 세계적인 수준이라 할 수 있으나, 기존의 양식 시스템으로는 바이오에너지 생산용 바이오매스를 충당하기에는 양식장 면적이 절대적으로 부족하므로 새로운 양식적지를 개발하거나 배타적 경제수역의 비교적 외해 지역에서 해조류 양식시설을 설치해야 하는 어려움이 있다. 해조류양

식 시설을 외해지역에 설치하였을 경우 태풍 등의 영향에 대한 대비책 마련이 필요하며, 바이오매스의 채취와 동시에 현장에서 전처리 가공이 이루어질 수 있는 해상 플랜트선의 개발이 수반되어야 한다. 여기에는 생물, 화학, 물리 및 해양공학과 리모트 컨트롤 등의 첨단 기술분야가 융합 되도록 집중적 연구와 투자가 종합적으로 지원 되어야 한다.



[그림 2-2-21] 외해용 해조류 대량양식 개념도.

(2) 장기적 지원

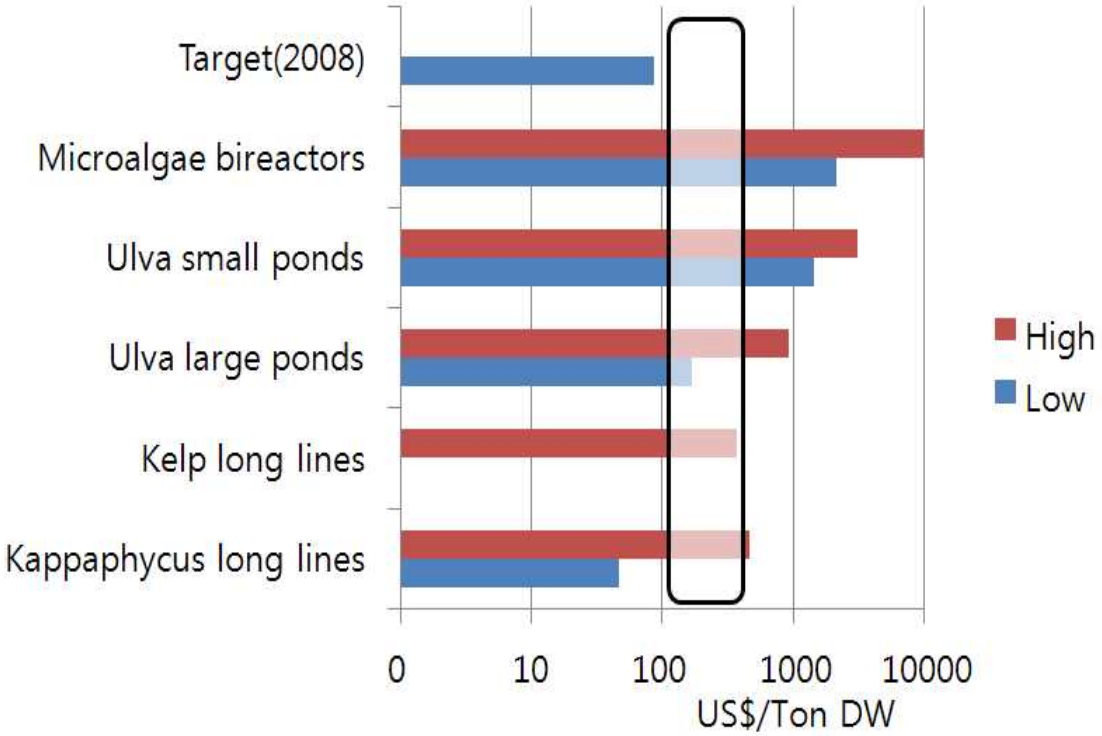
해조류 바이오매스의 대량확보 및 지속가능한 생산을 위하여 장기적인 지원시스템이 마련되어야 한다. 해조류의 종류별 생활사를 조절할 수 있는 배양기술은 대량양식의 필수적인 원천기술이므로, 국내 양식적지의 가능한 개발 이후에는 열대지역 유큐우마또는 꼬시래기 양식 국가들과의 공조를 통하여, 재생 양식법에 수반되는 해조류 엽체의 열성화 문제를 해결하기 위한 포자 채취를 통한 양식방법의 기술력 수출을 꾀할 수 있다. 해조류 양식 전문인력 양성은 대학 등의 전문교육기관 이외에도 양식 현장에서 직접 기술원이 가능한 전문인력을 양성한다는 차원에서 수산양식업 관련 전문기술교육이 시급한 상황이나 수산양식업이 바다를 대상으로 하여 노동을 필요로 하는 특성상 젊은 세대들에게는 매력이 없는 직종으로 보일 수 있다. 따라서 재생가능한 자원의 생산이라는 새로운 인식의 확대와 정부차원의 장기적인 인력양성 지원이 시급한 실정이다. 해조류 양식기술과 관련한 특허동향에서 국내특허의 비율이 높아 대부분 국내에서만 적용되는 한계가 있으므로 국제적으로 통용될 수 있는 특허 개발이 필요하다.

(3) 에너지 수율의 경제성 이외의 문제

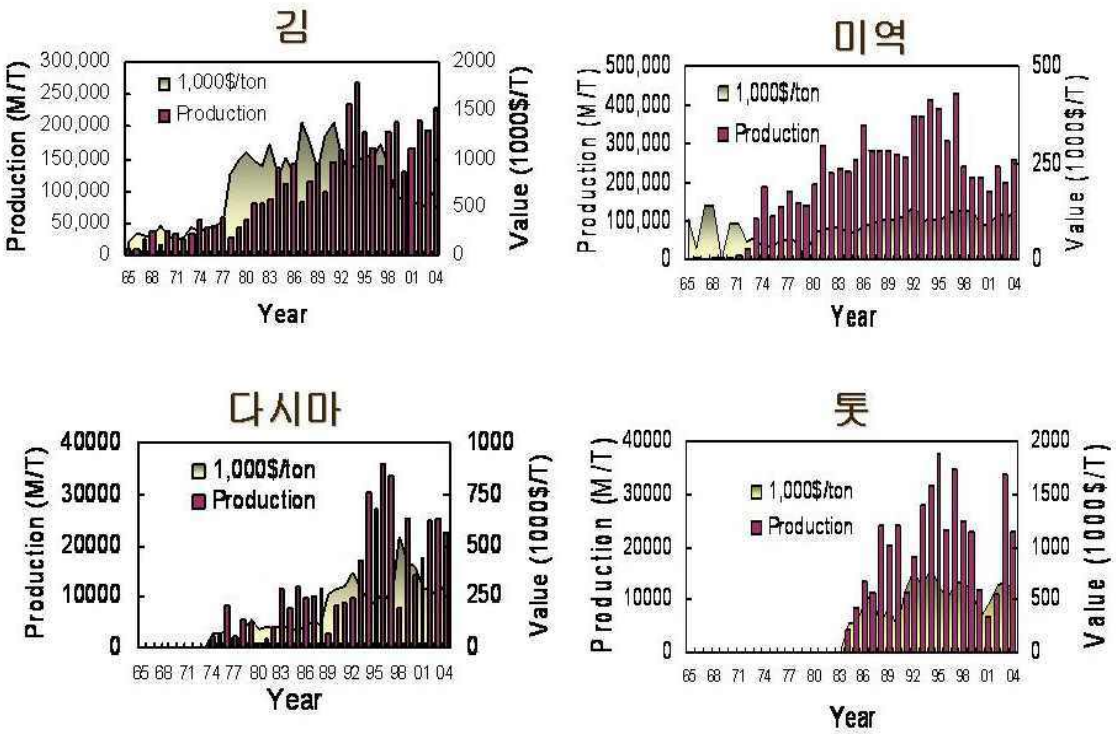
해조류 바이오매스로부터 에너지를 생산하는데 계산상으로 얻어지는 에너지 수율 자체는 1980년대 미국과 영국에서 이루어진 연구결과 그리 높지 않은 것으로 나타나 있

다. 그러나 이러한 에너지 수율 이외에 해조류 바이오매스를 생산하는 과정에서 나타나는 이산화탄소저감과 영양염 제거를 통한 해양생태계 안정성 회복 등의 부가적인 이점들 역시 경제성분석의 항목으로 추가되어야 할 것이다. 뿐만 아니라 현재 이루어지고 있는 조류를 이용한 새로운 시도들에서 해조류는 미세조류에 비하여 생산단가가 매우 저렴하며, [그림 2-2-22]과 같이 바이오에너지 목표가격인 건중량 대비 100US$/톤 이하의 생산가격을 충족시킬수 있는 유일한 대안으로 고려되고 있다. 국내에서 양식되고 있는 해조류는 김, 미역, 다시마, 톳 파래, 청각, 모자반 등 수 종에 불과하여 양식품종이 다양하지 못하며, 양식면적, 양식건수, 생산량 및 생산금액 등 모든 면에서 김, 미역, 다시마가 차지하는 비중이 90%를 넘고 있다. 김의 경우 가공처리 공장의 대형화와 물김판매 성행, 불법시설로 인한 과잉생산으로 품질저하, 소비둔화, 수출부진 등의 복합적인 작용의 결과로 1980년도 속당 3,797원 1991년도 4,162원하던 가격이 2000년 이후에는 3,000원 정도로서 1980년도보다 가격이 낮아 졌다. 또한 미역 역시 1kg당 가격이 100원 안팎에 불과하여 생산량이 많음에도 불구하고 생산금액은 수산양식동물에 비하여 현저히 떨어지고 있다.

1990년 대비 2008년의 생산량 증감을 보면 다시마의 생산량이 263%증가하였다. 다시마 생산량이 증가한 이유는 2000년대부터 전복 양식이 성공하면서 사료 수요가 증가하였기 때문이다. 해조류 양식에 종사하는 어업가구는 1996년 34,030 가구에서 2000년에는 24,810 가구 2006년에는 23,989 가구로 점차 줄어들고 있으며, 다시마를 제외한 대부분의 해조류 양식 어업가구수가 현저히 감소하고 있다. 해조류 양식 어업가구수는 전체 수산양식 어가수의 30%를 차지하는 반면 생산금액은 전체의 17.7%로서 해조류 양식어가는 영세성을 면치 못하고 있으며 양식어업인의 고령화 또한 큰 문제점으로 부각되고 있다. 국내 해조류 양식산업은 여러 가지 문제점에도 불구하고 양식 현황 자료에서 나타난 바와 같이, 최근 해조류의 양식 생산량과 생산금액이 전반적으로 증가하고 있다. 또한, 김, 미역 및 다시마의 비중이 90%를 넘고 있다 하더라도 그 외 해조류의 생산량과 생산금액이 지속적으로 증가하고 있다.



[그림 2-2-22] 바이오 에너지의 생산가격 및 목표가격.



[그림 2-2-23] 최근 30년간 국내 해조류 양식 생산량 및 가격 변동.

라. 생산 경쟁력 확보

(1) 바이오매스 확보방안

해조류 바이오매스의 확보를 위한 방안은 크게 국내와 국외로 구분할수 있다. 국내에서는 기존의 양식 대상종들 중 당함량이 습중량 대비 각각 5.2%, 4.8% 및 3.5%로 가장 높았던 모자반과 미역, 다시마 등을 대상으로 하는 것이 효율적일 것으로 판단된다[표 2-2-7]. 모자반은 다년생 갈조류로 1회 양식시설을 설치하면 채취후 수년에 걸쳐 포복지에 의한 재생되는 엽체를 재 수확할 수 있는 이점이 있으며, 현재 양식기술개발이 국내기술에 의하여 완료된 상태이다. 미역은 우리나라, 중국, 일본의 세 나라들 중 우리나라에서 생산량이 가장 많은 3만톤의 생산량을 나타내고 있으며, 이형세대교번을 통하여 무수히 많은 수의 유주차를 채묘할 수 있는 이점 때문에 바이오매스의 확보 차원에서 매우 유리한 대상으로 판단된다. 국외에서는 연중 해조류의 생산이 가능한 열대지역 국가와의 협력을 통하여 생장율이 높은 모자반류와 꼬시래기류의 대상종을 선전하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

[표 2-2-7] 해조류 종류별 당함량 및 에탄올 수율

대상종(fresh wt. based)	당함량(%)	에탄올수율(%)
모자반	5.2	2.7
미역	4.8	2.5
다시마	3.6	1.8
김	1.7	0.9

자료 : 국립수산과학원

해조류 양식의 국내생산량은 현재 수요량에 맞추어 생산되고 있는 실정이므로, 바이오매스 확보를 위한 해조류의 판매 단가가 어업인들에게 현실적인 이점이 있다고 판단되면 단위면적당 생산량을 크게 높일 수 있는 여지가 있다. [표 2-2-8]는 현재 우리나라 연근해에서 해조류 양식장을 개발 가능한 잠재면적을 나타낸 것이다. 또한 [표 2-2-9]는 해조류 종류별 생산성을 나타낸 것으로 다시마가 연간 40톤/ha로 가장 높았으며, 평균 생산성은 약 13.9톤/ha로 나타났다. 따라서 [표 2-2-8]과 [표 2-2-9]를 근거로 국내에서 현

재의 양식기법으로 생산이 가능한 잠재 생산량을 계산해 보면 연간 3억9천만톤의 해조류 바이오매스생산이 가능할 것으로 예상된다.

[표 2-2-8] 우리나라의 해조류 잠재 생산량

구분	양식면적(A) (ha)	실용적 적지면적(B) (ha)	개발가능 면적(ha) (B-A)	총 잠재면적 (ha)
동해안	529	586	57	?
남해안	62,002	99,125	37,123	?
서해안	8,161	16,198	8,037	?
전체	70,692 (2005년 자료)	115,909	45,217	3,000만

*실용적 적지면적: 연안어장기본조사(1988)자료
*총 잠재면적: 배타적경제수역의 대륙붕 면적

[표 2-2-9] 해조류의 추정 생산성

구분	종류	생산성(톤/ha/year)
홍조류	김	2~4
	우뭇가사리	2이하(추정)
갈조류	미역	20
	다시마	40
	톳	10
	모자만	7.7
평균		13.9

자료 : 국립수산과학원

(2) 현재의 해조류 바이오매스 생산비용

해조류의 대량양식은 생산 및 시설 규모에 따라서 경영비용이나 생산비를 산정하는데 매우 큰 차이를 보인다. 따라서 현재 이용되고 있는 해조류 양식종 가운데 비교적 산업적 규모로 생산된다고 할 수 있는 김, 미역 및 다시마의 경우를 대상으로 10ha를 기준으로 하였을 때 생산비용을 추정해 본 결과는 [표 2-2-10]과 같다. 즉, 김의 경우 노출부류식으로 10ha에서 200책을 시설하였을 경우, 9월부터 5월까지 생산시기를 감안하였을 때 김의 바이오매스 생산비용은 10ha 당 66,000천원이며, 건중량 1톤당 생산가격을 계산해 본다면 10,000~20,000천원이 된다. 미역의 경우 10ha에서 200대의 연승을 시설하고 10월부터 3월까지 생산시기를 감안한다면 미역 바이오매스의 생산비용은 10ha당 23,000천원 그리고 건중량 1톤당 가격은 10~50천원이 된다. 다시마의 경우 전복먹이용의 생산가격은 건중량 1톤당 10~20천원으로 미역보다는 싼 가격에 생산이 되고 있다.

따라서 현재 이루어지고 있는 식용 해조류 대량양식의 생산비용을 근거로 추정해 본 우리나라의 해조류 생산비용은 바이오매스로 이용하기 위한 목표 생산단가인 건중량 1톤당 100~500달러[그림 2-2-22] 보다도 매우 낮은 가격으로 생산이 가능함을 나타내고 있다. 현재 이루어지고 있는 외해 대량양식 기법의 기술적 발달과 바이오매스 대량양식의 정책적 지원이 뒷받침된다면 현재의 해조류 생산단가는 보다 낮은 수준으로 대량의 바이오매스 생산에 도달할 수 있을 것으로 추정된다.

[표 2-2-10] 해조류 바이오매스 생산비용

종	생산비용* (천원/10ha)	가격 (천원/톤-dry wt.)	생산량 (톤-dry wt./ha)	비고
김	66,000	10,000~20,000	0.4	노출부류식 10ha-200책 9월~5월생산기준
미역	23,000	10~50	2.8	연승수하식 10ha-200대 10월~3월생산기준
다시마	27,000	1,500~4,500 (전복먹이용 10~20)	4.5	연승수하식 10ha-200대 11월~7월생산기준

*주요 양식품종 어가별 소득자료집(해양수산부,2002)

제 3 절 해조류 생산관리시스템 동향

1. 일본 해조류 생산관리시스템 동향

일본과 중국의 김 생산은 농업과 원예에 사용되는 방법인 해중양식을 대규모로 응용한 방법을 사용한다. 다른 유사한 대규모의 작업은 중국의 다시마 재배 및 전세계적인 Eucheumoid 해초의 재배가 있다. 김 생산은 자연환경의 변덕에 의존하지 않는 완전 순환 양식이다. 김의 생산은 주로 해안에 수행되고 양성과정을 확립하여 현재 전체 산업의 확고한 기초를 형성하였다. 김 양식은 생산적인 변동이 적고 안정적으로 시장 수요가 꾸준히 증가하고 있다.

김은 처음 1달 동안 천천히 성장하여 1cm에 이르지만, 15일의 조류 주기동안 10~15cm 성장하고, 약 50일 이후 15~20cm로 성장하게 된다. 이 기간 동안 병해, 수온, 염분이 신중하게 고려되어야 한다.

[그림 2-3-1] 일본의 김 양식 장면.

[그림 2-3-2] 성장한 김의 모습.

[그림 2-3-3] 일본 김 양식장의 전경.

2. 중국 해조류 생산관리시스템 동향

다시마는 중국에서 가장 중요한 경제적 가치를 지닌 해조류이다. 인공 부유 구조물을 사용한 해중 양식이 1952년 시작하여 생산량이 1980년대까지 지속적으로 증가하여 건조 중량 200,000톤(습윤 중량 1,500,000톤)을 달성하였다. 현재 양식어장의 약 20만 에이커에서 다시마의 수확량은 약 2억원의 가치를 나타낸다.

두 가지의 기본적인 부유식 다시마 재배 방법이 있다. 한 가지는 다시마 줄을 매달아(single-raft) 재배하는 방법이고, 다른 한 가지는 수평 다시마 로프(double-raft)를 사용하여 재배하는 방법이다. 약 60m길이의 부유식 줄은 유리 또는 플라스틱으로 만들어진 부이를 이용하여 해수면에 계류되고 해저면에 나무펜스에 계류한다. 각 다시마 줄은 2m 간격으로 약 30 줄이 엮인다. single-raft 방법에서는 다시마줄이 부유식 줄로부터 아래로 매달려 있고 작은 돌조각으로 무게를 잡는다. double-raft 방법에서는 두 개의 다시마 줄이 연결되거나 하나의 끝과 다른 하나의 끝이 묶여 있다. hanging kelp rope 방법은 안정성에 장점이 있지만 다시마의 성장이 고르지 않다는 결함을 갖고 있다. horizontal kelp rope 방법은 다시마의 성장을 고르게 하는 반면 해류에 저항력이 떨어진다는 단점이 있다.

[그림 2-3-4] 중국 북서 해안의 해조류 양식장.

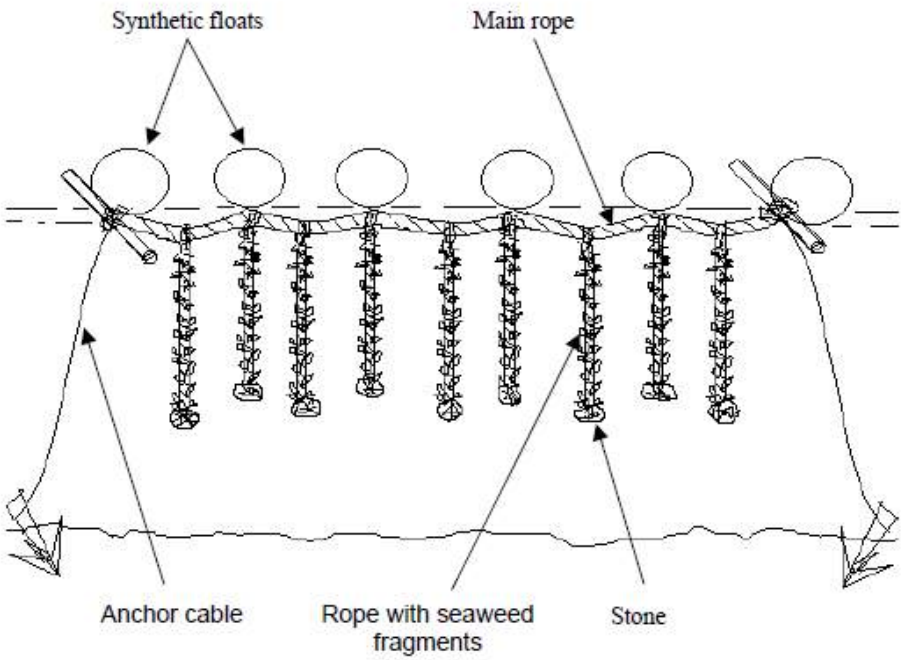
[그림 2-3-5] 중국 북서 해안의 해조류 채취장면-1.

[그림 2-3-6] 중국 북서 해안의 해조류 채취장면-2.

3. 인도의 해조류 생산관리시스템 동향

대규모의 해조류 생산은 아시아에서만 이루어지며, 그 원인은 인구의 급격한 성장 및 해조류 제품에 대한 높은 수요로 인한 해조류 시장의 성장으로 볼 수 있다. 아시아의 해조류 경작 운영시스템은 상대적으로 낮은 기술과 높은 노동력으로 구성되어 있다. 필리핀의 Southern California와 Baja California 지역, 대만 등에서 이루어지는 대규모의 다시마 양식을 제외하고는 대부분의 해조류는 야생에서 재배 및 수확 기술을 사용하여 생산된다. 인도의 경우 해조류의 수요가 많은 반면 생산량이 부족하여 해조류의 지속적인 생산이 필요하다. 이를 위해 많은 기술 중에서 CSMCRI에서 개발된 Single Rope Floating Raft (SRFR) 기술이 깊은 수심을 갖는 넓은 지역에서 적용되고 있다. 직경 10mm의 긴 폴리프로필렌 로프를 2개의 앵커 케이블이 있는 나무말뚝에 고정하고, 부유체를 사용하여 부유시키고 이때 케이블의 길이는 수심의 2배로 한다. 각각은 25~30개의 부유체로 부유하게되고 양식 로프는 부유식 로프에 매단다. 또한 석재를 양식 로프의 하부에 부착하여 수직으로 위치를 유지한다. 일반적으로 Gracilaria edulis의 10개 포자가 각 로프에 설치되며 두 로프사이의 간격은 2m로 유지한다. 최근에도 다양한 연구가 수행되어 대규모의 양식을 위한 기술개발이 활발히 이루어지고 있다.

Figure 1: Single Rope Floating Raft culture technique



[그림 2-3-7] Single Rope Floating Raft culture technique의 모식도.

4. 필리핀 해조류 생산관리시스템 동향

필리핀의 Zamboanga del Sur에서는 주로 해조류 양식에 종사하는 인구가 많고 Illana 만을 중심으로 그림 에 나타나 있는 도시들에서 해조류 생산이 이루어지고 있다.

가. Tabina

Tabina는 Zamboanga del Sur의 최남단에 위치한 해안 도시로 좋은 어장을 바탕으로 주로 어업에 종사하는 사람이 많다. 해조류 양식은 Tabina에서 최근에 발전되어 왔다. San Vicente, San Andres, San Sebastian, Abong-abong와 같은 해안 보호구역에서 시도되어왔고, 총 65ha에서 60여가구가 해조류 양식에 종사하고 있다. 부유식 선을 이용한 방법으로 해조류 양식을 하고 있고, pundo라고 불리는 bamboo posts가 선에 부착하는 방식으로 해조류를 생산하고 있다.

나. Dimataling

Dimataling Zamboanga del Sur의 동남쪽에 위치한다. 농업과 어업에 종사하는 사람이 많다. Dimataling에서 해조류 생산은 1980년대 후반 상업적인 규모로 처음 시도되었다. 남서 계절풍에 의해 일년내내 해조류 양식이 가능하다는 장점을 갖고 있으며, [그림 2-3-9]는 Dimataling의 생태지도를 나타내고 있다.

다. Dinas

Dinas는 Zamboanga del의 남쪽에서 가장 큰 해안도시 중의 하나이다. Baganian Peninsula에 위치하여, Dimataling과 남쪽에 접하고, San Pablo와 북쪽에 접하고 있다. Dinas의 어업종사자들은 1980년대 후반 해조류 양식을 시작하였다. 그 이후 Barangays Tarakan, Sambulawan, Sungayan, Pisaan에서 해조류 양식을 시도하여 Dinas는 가장 큰 해조류 양식환경이 조성되었다. 특히 Tarakan은 1000ha 이상의 양식어장이 조성되어 해안선으로부터 6km 외해에까지 확장되어 있으며 전체 인구 중 95%가 해조류 양식에 종사하고 있다. [그림 2-3-10]은 Dinas의 생태지도를 나타내고 있다.

라. San Pablo

San Pablo는 Baganian 반도에 위치하고 있으며 150여 가구가 해조류 양식에 종사하고 있다. 그러나 Ticala 섬에 의해 보호되는 구역에 제한되어 일년내내 해조류 양식이 가능하며, 그 외의 구역은 남서 계절풍에 노출되어 해조류 생장에 영향을 받는다. 그림은 San Pablo의 생태지도를 나타내고 있으며, Ticala 섬에 의한 남서계절풍의 차단을 확

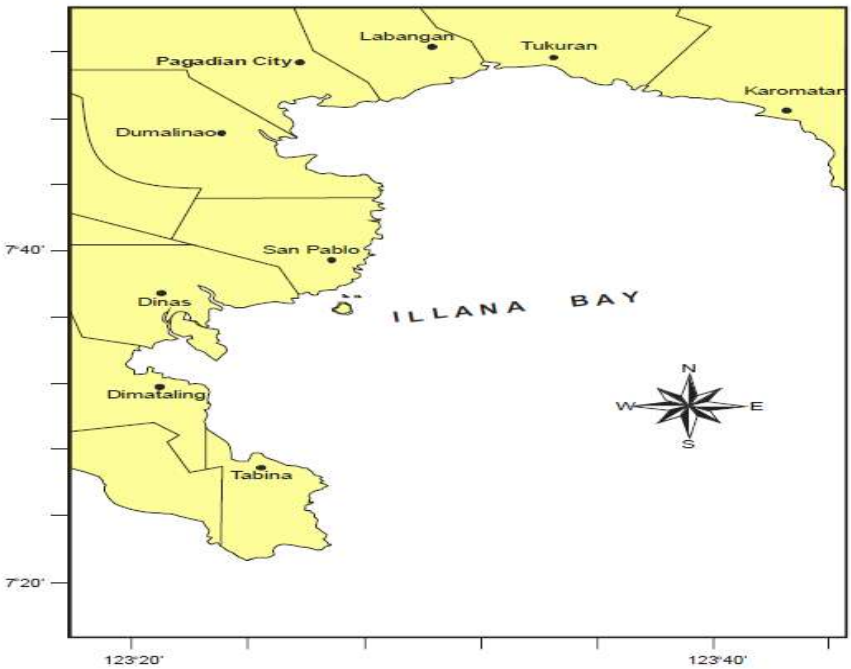
인할 수 있다. 해조류의 재배 방법은 40~100개의 선을 넓은 지역에 거쳐 1~3m의 간격으로 설치를 하여 200~250 g의 해조류를 5~7 in 간격으로 재배한다. 해조류는 1개월이 지나면 1 kg이상이 되고 2kg이상이 되면 수확한다. 완전한 수확품은 보통 45~60일 사이에 재배되며 대나무 막대를 이용하여 수확한다. [그림 2-3-11]은 San Pablo의 생태지도를 나타내고 있다.

마. Pagadian

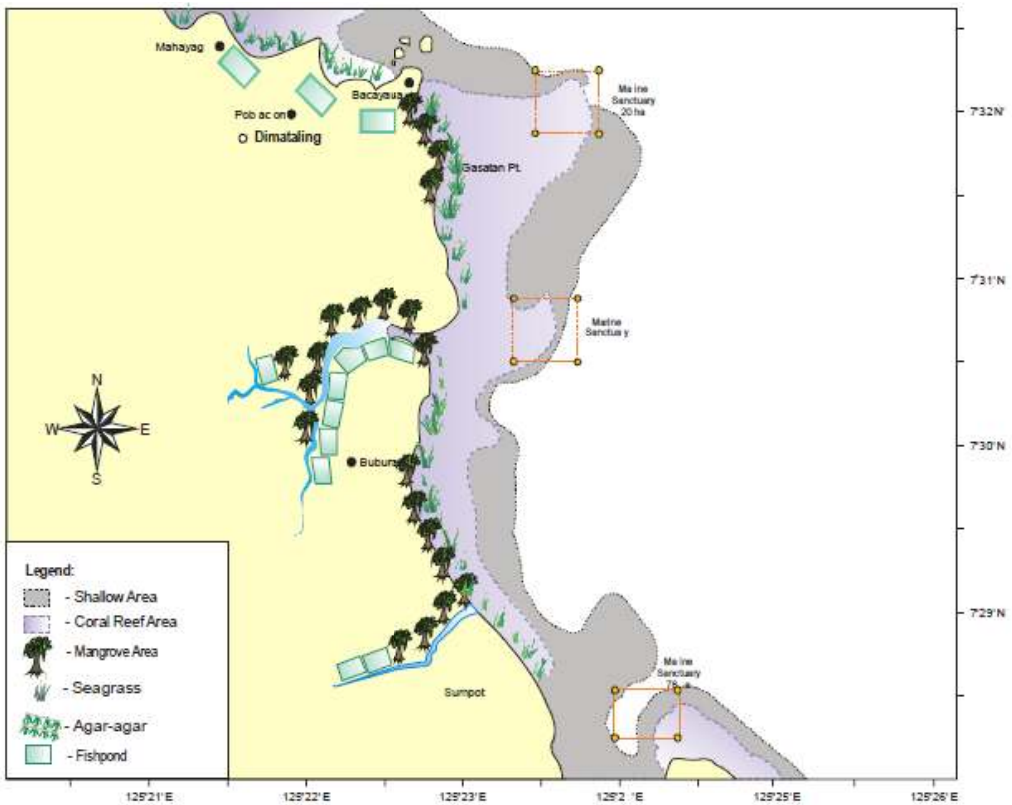
Pagadian은 Zamboanga del Sur의 북동쪽에 위치하고 있고 Labangan과 남쪽에 접하고 있으며, 북쪽으로 Dumalinao와 접하고 있다. Zamboanga del Sur의 상업적, 정치적 중심임에도 불구하고, Pagadian의 경제는 주로 농업과 어업자원에 의존하고 있다. Pagadian에서 해조류 양식은 1980년대후반에 처음 시작되어 1990년대 후반에 급격한 증가를 보였다. 해조류 양식어장은 약 299ha 중 180ha가 가동되고 있고, Barangay bomba에서 100 ha이상이 가동되고 있다. [그림 2-3-12]은 Pagadian의 생태지도를 보여준다.

바. Labangan

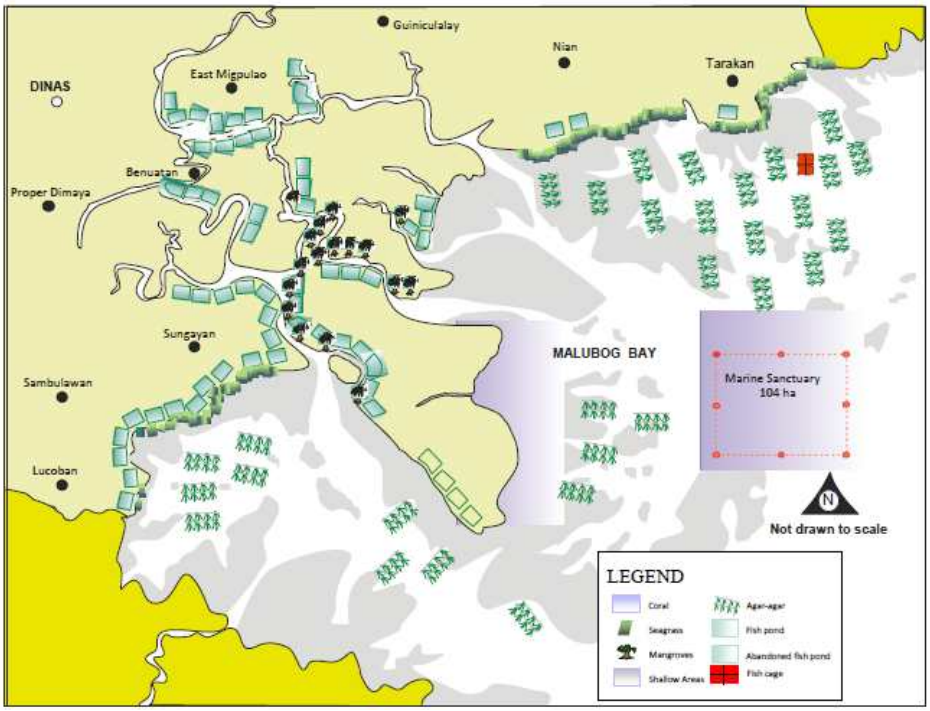
Labangan는 Zamboanga del Sur의 동쪽에 위치하고 있는 농업도시이다. Pagadian과 서쪽에서 접하고, Tukuran과 illana 만과 남동쪽에서 접하고 있다. Labangan의 해조류 양식은 2001년에 시작되었고 965 ha의 양식어장으로 이루어져 있다. 이들 어장은 대부분 Barangays Combo의 연안에 위치한다. 전체 인구의 80%가 해조류 생산에 종사하고 있다. [그림 2-3-13]은 Pagadian의 생태지도를 보여준다.



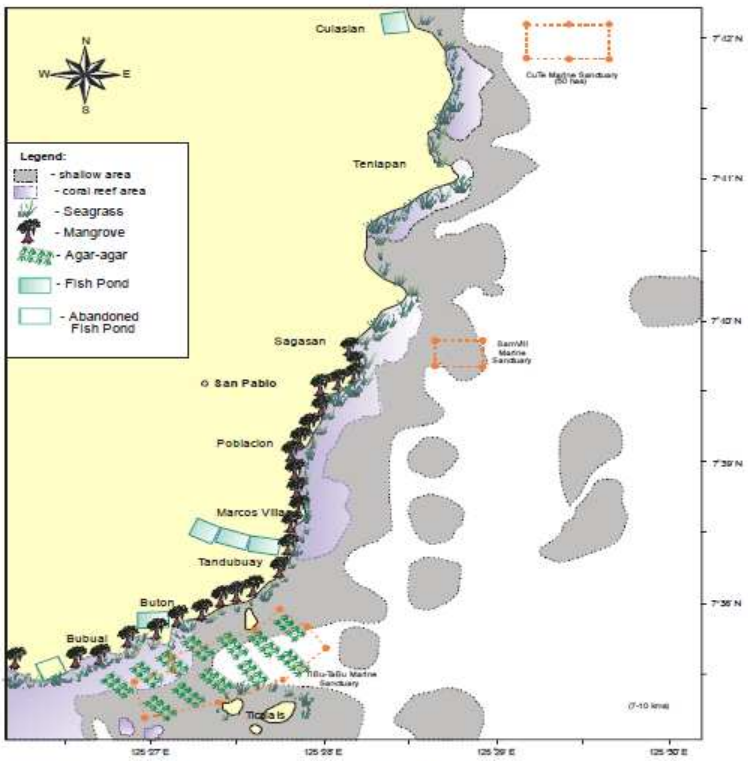
[그림 2-3-8] 필리핀 Zamboanga del Sur의 해조류 생산도시.



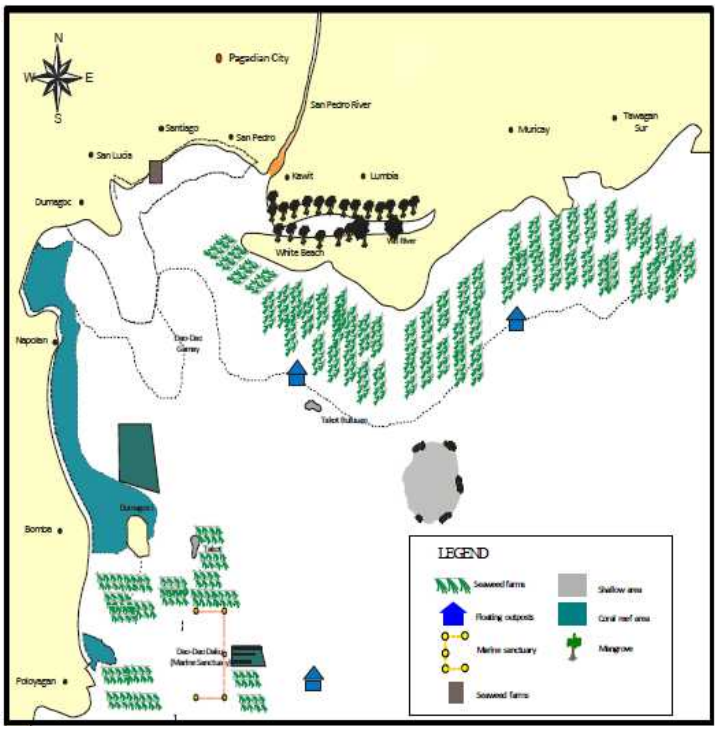
[그림 2-3-9] Dimataling의 생태지도.



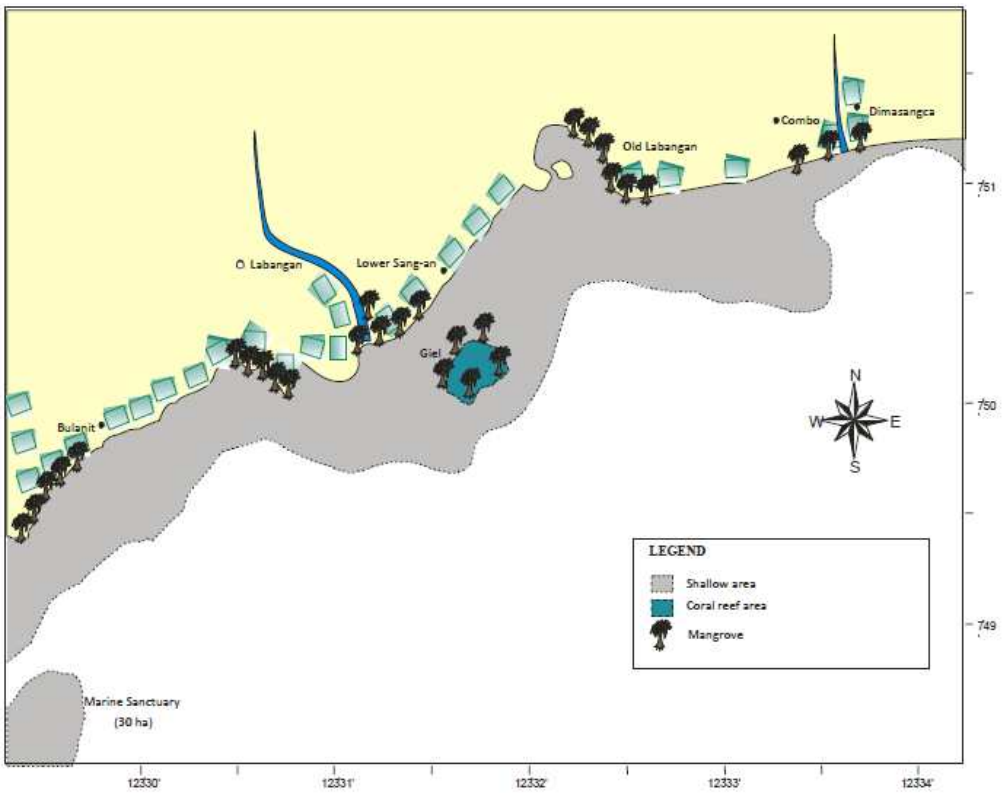
[그림 2-3-10] Dinas의 생태지도.



[그림 2-3-11] San Pablo의 생태지도.



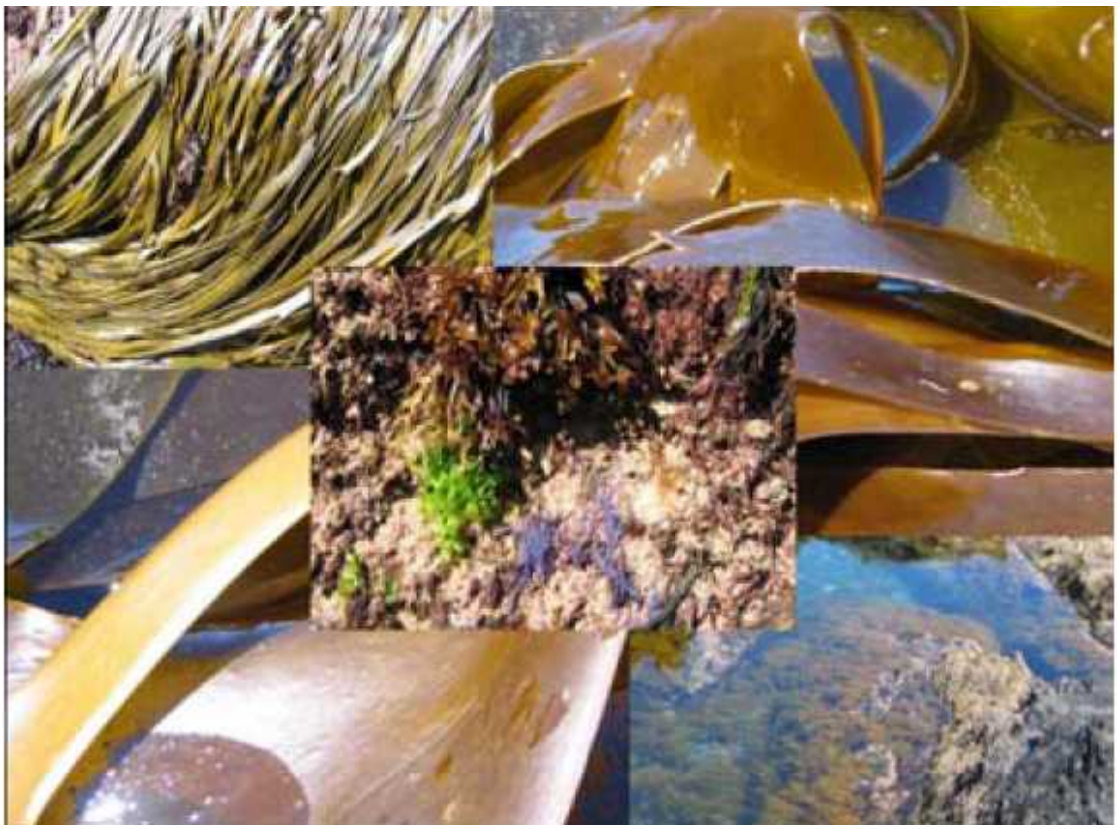
[그림 2-3-12] Pagadian의 생태지도.



[그림 2-3-13] Labangan의 생태지도.

5. 노르웨이의 해조류 생산관리시스템 동향

유럽에서는 해조류 생산에 관련하여 R&D 단체나 산업단체에서 연구가 진행되고 있다. 재배되는 해조류의 양은 매우 적고, 주로 가격이 비싼 종에 대하여 주로 작은 회사에서 재배하고 있다. 해조류 생산시 수확량을 증가시키기 위하여 실적이 가장 좋은 변종을 사용하고 수확량을 풍부하게 하는 방법 등을 사용하여 꾸준히 생산성을 향상시켜오고 있다. 노르웨이에서 주로 생산되는 해조류는 Kelp(Laminaria hyperborea)과 Knotted wrack (Ascophyllum nodosum)의 두 종으로 Kelp는 연간 130,000~180,000 ton이 생산되고, Knotted wrack은 10,000~20,000 ton이 생산된다. 주로 개방된 해역이나 보호구역, 피오르드에서 해조류 생산이 이루어지며 생산기술로는 Norinet (Porphyra, Ulva – protected areas), Long line (Laminaria, Macrocystis – open areas), Closed bags in open sea (Bodvin et al, 1996), Land based tanks (Chondrus cripsus)의 방법들이 사용되고 있다.



[그림 2-3-14] 노르웨이에서 주로 생산되는 해조류.

6. 국내 해조류 생산관리시스템 동향

[표 2-3-1]과 [표 2-3-2]는 우리나라 해조류 생산량을 나타내는 표로 김, 미역, 다시마가 주요 양식 종이다. 1990년 40만톤의 해조류 생산량을 나타낸 이후 1990년대 중반까지 생산량이 점차 감소하다가 최근 지속적은 증가를 나타내어 2008년 우리나라의 해조류 생산량은 약 93만 톤을 기록하였다. 실제 건조중량으로 살펴보면 10~20만톤에 불과한 양으로 해조류의 수요부족에 그 원인을 찾을 수 있다.

[표 2-3-1] 우리나라의 해조류 생산량(1990~1998)

년도		1990	1992	1994	1996	1998
합계		442,193	604,201	777,096	561,900	482,363
일반해면	소계	30,324	24,238	26,899	22,910	12,594
	김	3,533	69	77	189	635
	다시마류	7	-	164	1,795	500
	도박류	756	399	1,190	120	15
	말	201	108	388	68	19
	미역	5,075	3,459	5,388	6,642	784
	우무가사리	8,339	6,742	7,581	3,551	3,136
	기타가사리	325	394	213	57	116
	청각	565	1,215	514	381	280
	톳	7,222	4,327	5,814	8,086	3,856
	파래	1,425	578	527	373	61
	기타해조류	2,876	6,941	5,015	1,594	3,191
천해양식	소계	411,869	579,963	750,197	538,990	469,769
	김	97,637	163,555	269,581	166,199	191,578
	다시마류	8,084	9,560	30,421	35,640	7,931
	말					
	미역	269,333	371,432	411,602	305,813	239,742
	청각	427	-	1	8	-
	톳	23,920	18,163	31,669	23,054	24,993
	파래	12,463	17,248	6,918	8,272	5,298
	기타해조류	5	-	5	4	227

자료 : 농림수산식품부 홈페이지, 어업생산통계시스템

[표 2-3-2] 우리나라의 해조류 생산량(2000~2008)

년도		2000	2002	2004	2006	2008
합계		387,479	507,984	545,808	778,667	934,890
일반해면	소계	13,023	10,427	9,060	13,754	13,866
	김	1	29	3	2	1
	다시마류	350	88	-	12	2
	도박류	15	2	48	473	1,170
	말	29	-	-	1	260
	미역	1,717	1,089	719	3,569	3,114
	우무가사리	2,872	2,150	1,791	3,012	1,093
	기타가사리	66	117	11	328	63
	청각	220	558	616	2,875	1,400
	톳	6,062	5,081	5,284	2,933	2,721
	파래	64	412	71	164	295
	기타해조류	1,627	901	517	374	3,736
천해양식	소계	374,456	497,557	536,748	764,913	921,024
	김	130,488	209,995	228,554	217,559	224,242
	다시마류	14,160	24,873	22,510	201,919	285,221
	말			-	919	1,059
	미역	212,429	242,135	261,574	322,371	381,076
	청각	164	72	142	165	1,186
	톳	11,654	11,016	22,814	21,125	17,701
	파래	5,288	9,291	1,154	682	8,003
	기타해조류	273	171	-	173	2,536

자료 : 농림수산식품부 홈페이지, 어업생산통계시스템

제 4 절 건강 신소재 개발

1. 국외의 건강 기능성소재 기술개발 동향

가. 항산화활성

- ROS 생성에 의한 산화적 스트레스는 염증, 면역억제, 노화 및 암과 같은 여러 가지 퇴행성 질병의 병인으로 주목받고 있다. ROS는 hydroxy radical, superoxide anion 및 peroxyl radical의 활성전구체 등을 포함한 많은 활성 대사산물들로 구성되어 있다. 인체세포에서 ROS는 지속적으로 생성되고 생성된 ROS는 효소적 또는 비효소적인 항산화 작용에 의하여 신속하게 제거됨으로써 ROS에 의한 손상을 방지하고 조직내에서의 pro-oxidant와 antioxidant 균형을 유지한다. 그러나 스트레스, 자외선, 흡연, 공해와 같은 외적인 인자들은 산화적 stress를 증가시켜 생리적인 항산화 시스템의 교란을 초래하므로[24-26] polyphenol 화합물과 같은 천연 항산화제의 처리에 의해 산화적 스트레스로 인한 질병을 예방할 수 있다.
- 정상적인 세포는 산화적 스트레스를 제거하기 위한 다양한 효소적 비효소적 항산화 방어시템을 지니고 있으므로, 세포는 내인성 또는 외인성의 활성 산소 종을 효과적으로 제거하여 세포내 핵산과 단백질을 보호한다[27,28]. 세포와 조직들은 대사불활성화 후 독성물질을 제거하는 일련의 제독화 효소계를 갖추고 있다[29-31]. 세포와 조직이 산화적 자극을 받으면 1차 방어계로써 항산화-제독화 시스템이 작동한다. 항산화 또는 제독화 전사조절은 주로 redox-sensitive 전사인자인 NF-E2 related factor-2 (Nrf2)에 의해 조절된다. 식물유래의 여러 가지 polyphenol 화합물들은 Nrf2 signaling을 활성화시켜 NADP(H):quinine oxidoreductase-1 (NQO1), superoxide dismutase (SOD), glutathione S-transferase (GST), hemeoxygenase (HO-1) 및 γ-glutaryl cysteine ligase (GCL)과 같은 효소들의 전사를 증진시켜 산화적 스트레스에 의한 손상된 세포의 복구에 관여한다[32,33].
- 특이적인 DNA 손상에 의한 암유발 이외에도, 산화적 stress에 의하여 세포의 성장과 증식에 주요한 역할을 하는 kinase 활성화시켜 세포의 사멸/증식 과정을 변화시킨다.[34-37]. MAP kinase 계열은 세포생존, 사멸, 증식, 변형, 암촉진 등과 같은 여러 가지 기능에 관여하는 kinase의 일종으로. 그중에서도 MAPK/ERK1/2는 UV나 H_2O_2처리에 의해 생성되는 ROS에 의해 활성화되어 세포의 노화에 중요한 역할을 한다[37-40]. JNK와 p38과 같은 MAPK 계열의 kinase는 UV와 같은 여러 가지 외적인 stress에 의해 활성화되어 AP-1, myc, NFAT4, smad, ATFs, Stat1과 CREB와 같은 전사인자들을 활성화시킴으로써 환경적인 stress에 의한 세포사멸을 유도한다[41-44].

- 여러 가지 세포 보호효과중에 세포의 생존과 세포사멸을 억제하는 주요한 경로는 PI3K-AKT 경로가 알려져 있다. 암의 발생과 진행에 있어서 Akt의 역할에 대하여 많은 연구들이 진행되고 있다 [45,46]. MAPK와 AKT에 의한 신호전달은 이들의 하위에 있는 NF-kB와 AP-1과 같은 전사인자들을 활성화시킨다[47-49]. 산화적 스트레스에 의한 이러한 신호전달 단백질이 활성화되어 염증, 노화 및 암의 진행을 유발하는 세포내 반응에 주요한 역할을 한다[50-52]. 따라서 산화적 스트레스에 의한 이러한 신호단백질의 손상은 항산화성이 강한 phytochemical에 의해 예방될 수 있다.

나. 항염증활성

- 현재 국내외 항염증 치료제 개발 주요 방향은 크게 두 가지로 요약되어 질 수 있다. 하나는 염증 병인 인자의 대부분이 단백질로 고유의 효소 활성도를 가지고 있으므로 이들의 효소활성 억제제 개발 방향에 초점을 두고 있다. 다른 하나는 염증 유전자 발현 자체를 억제시킬 수 있는 염증 유전자 발현 억제제 개발 방향에 초점을 두고 있다. COX-2 저해를 통한 항염증 및 소염제 개발에 대한 국내외 연구는 대부분 COX-2 단백질의 효소 활성도를 억제시키는 COX-2 효소 활성도 억제제 개발에 초점을 두어왔다 [53-55].
- 현재의 대표적 항염증 및 소염제로는 Aspirin과 같은 Non-Steroidal Anti-Iinflammatory Drugs (NSAIDs)과 선택적 COX-2 효소 활성 저해제인 celecox등이 개발되어 시판 사용되어지고 있다. NSAIDs에 의한 항염증 효과는 이들 약물에 의한 COX의 효소 활성 저해, 즉 PGs 합성 억제를 통해 이루어진다. 하지만 최근의 많은 연구 결과로부터 NSAIDs가 항염증 효과 이외에 위궤양 등의 위장관 질환을 일으키는 부작용을 가지고 있음이 보고되었다. 이것은 NSAIDs가 COX-2 효소활성을 저해시켜 COX-2에 의한 PGs의 과다한 생성을 억제시켜 항염증 및 소염 효과를 나타내나 동시에 생체 내 유용한 생리적 기능을 가지는 COX-1 효소 활성도 또한 저해시켜 COX-1에 의해 생성되는 PGs의 양 또한 감소시켜 위궤양 등의 부작용을 일으키는 것으로 밝혀져 현재 항염증 및 소염제로서의 NSAIDs의 사용이 일부 제한적으로 사용되고 있는 실정이다[56-58].
- 이에 따라 현재 선택적 COX-2 저해제 개발 연구로 방향이 모아져 왔고 그 결과 앞서 언급한 선택적 COX-2 저해제인 celecox 등이 개발되어 항염증 및 소염제로서 현재 시판 사용되고 있다. 하지만 최근의 임상 연구 결과들로부터 몇몇 COX-2 선택적 저해제 역시 심혈관 질환의 부작용을 가지고 있음이 밝혀져 이들의 사용 또한 제한되어지고 있는 실정이다[59,60].
- 이러한 관점에서 볼 때 부작용을 전혀 일으키지 않는 새로운 COX-2 저해제 개발을 통한 항염증 치료제 개발의 필요성이 요구되어진다. 따라서 현재 국내외적으로 활발히 진

행되고 있는 천연물 (식품 또는 식품 구성 성분)로부터 선택적 COX-2 발현 저해제를 통한 항염증 치료제 개발 연구는 매우 큰 의미를 가진다.

- 식품 및 식품 유래 생리활성 물질은 이미 인간이 오래전부터 일상적으로 음용, 식용 및 복용을 해서 이미 이들에 의한 부작용은 어느 정도 배제시킬 수 있기 때문이다. 따라서 천연물을 탐색하여 이들 중 주요 염증 병인 인자로 잘 알려진 COX-2와 iNOS 발현을 선택적으로 저해시킬 수 있는 천연물 유래 생리활성 물질 개발 연구 및 향후 이들을 응용한 항염증 치료제 개발 연구는 중요성이 매우 크며 그 전망은 밝다고 본다[61].
- 현재 천연물로부터 항염증소재를 개발하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, in vitro 또는 in vivo 실험을 통해 COX-2 발현 억제를 통해 항염증 효과가 있다고 보고된 대표적 천연물 유래 생리활성 기능을 가진 phytochemicals들은 다음과 같다.
- EGCG는 녹차에 다량으로 함유되어있는 polyphenol phytochemical compound이다. 현재까지 알려진 연구 결과에 따르면 EGCG에 의한 항염증 효과는 IkB 단백질 분해 억제를 통한 NF-kB 전사인자 활성 억제, PKC 및 JNK 활성화 감소를 통한 염증 병인 인자인 iNOS, COX-2, pro-inflammatory cytokines TNF-a와 IL-1b 유전자 발현 억제와 깊은 관련이 있음이 밝혀졌다. 또한 AP-1 전사인자 활성 억제 및 세포 내 유해 활성산소 생성 감소등도 EGCG에 의한 염증 억제 효과와 관련이 있음이 알려졌다[62,63].
- Curcumin (diferuloylmethane)는 Curcuma longa L.에서 분리한 노란 색을 띄는 일종의 phytochemical이다. 현재까지 보고된 최근의 연구 결과에 의하면 Curcumin에 의한 항염증 효과는 NF-kB 전사인자 활성 억제, JNK 활성화 감소, 이로 인한 AP-1 전사인자 활성 억제 및 세포 내 유해 활성산소 생성 감소와 관련이 있음이 알려졌다. 또한 Curcumin이 LPS에 의한 COX-2 및 iNOS 유전자 발현을 크게 억제시켜 항염증 효과를 나타낸다는 것이 최근의 연구 결과에서 밝혀졌다[64-66].
- Resveratrol (3,4,5-trihydroxy-*trans-stilbene)*은 포도 및 포도주에 다량 함유된 물질이다. 최근의 연구 결과는 Resveratrol이 LPS나 TPA에 의한 COX-2 유전자 발현을 크게 감소시키며 이것이 주로 NF-kB 및 AP-1 전사인자 활성 억제를 통해 이루어지고 있음이 밝혔으며 Resveratrol에 의한 항염증 치료제로서의 가능성을 보여주었다. 또한 Resveratrol의 항염증 효과는 세포 내 유해 활성산소 생성 감소와 관련이 있다는 것이 최근의 연구 결과에서 밝혀졌다. 하지만 최근의 연구 결과로부터 Resveratrol에 의한 COX-1 발현 저해가 일어남이 밝혀져 Resveratrol 사용 시 부작용의 문제가 제기되고 있다[67-69].
- 콩류에 존재하는 flavonoid 계인 isoflavone에 관한 다양한 생물학적 활성 중에서 tectorigenin과 tectoridin은 쥐의 대식세포에서 PGE2와 COX-2의 발현을 저해함으로써

항염증효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다[70,71]. 또한 irisolidone, tectorigenin, genistein과 glycitein은 TPA로 유도된 RAW 264.7 세포에서 PGE2의 생산을 저해하는 것으로 보고되고 있다[72-74]. Glycitein은 RAW 264.7 세포에서 LPS로 유도된 NO의 생성을 억제시키는 것으로 보고되고 있다[75].

다. 항치매활성

- Microglial은 뇌에 존재하는 대식세포로서 monocyte에서 분화되어 중추신경계에 산재하는 비신경세포로써 뇌 손상이나 감염에 대해 초기 반응을 나타내어 염증성 cytokine, 단백질 분해 효소, 활성 산소 등을 방출하여 생체를 보호하는 면역세포이다[76,77]. 알츠하이머병 (Alzheimer's disease)은 뇌 내 amyloid b (Ab) 펩타이드가 비정상적으로 다량 만들어져 뇌 조직에 노인반이라고 불리는 senile plaque가 형성되면 microglia가 이를 항원으로 인식하여 활성화되고 염증을 일으키는 proinflammatory cytokines 및 NO를 방출하여 염증 반응을 유발하는데, 이 때 뇌 조직의 산화적 손상 및 세포사를 유발하여 신경세포의 기능 손실이 발생한다고 알려져 있다[78,79]. b-amyloid peptide는 뇌에서 염증 및 산화적 스트레스를 유도하며 알츠하이머 병에 중요한 역할을 한다. 알츠하이머병은 뇌조직 내에 neurotangle이 형성되어 뇌세포의 퇴행성 변화를 보이며 그 증상으로 기억의 손상이 일으킨다.
- 콩의 isoflavone인 irisolidone은 LPS로 유도된 microglial 세포에서 NF-kB와 AP-1의 활성화가 억제시킴으로써 뇌세포에서의 염증을 억제하는 효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다[80,81].
- 꿀풀과(*Rabdosiarubescens*)식물은 항암과 항염증 효과를 가진다. 꿀풀과 식물에서 분리된 Oridonin은 항염증, 항박테리아, 항암과 같은 다양한 생리활성을 지닌다. Oridonin은 HepG2 세포와 RAW 264.7 세포에서 iNOS와 COX-2의 발현을 억제시키고 cytokine에 의해 활성화된 NF-kB가 Oridonin에 의해 저해되는 것으로 보고되고 있다[82,83]. 최근에는 Oridonin이 LPS로 유도된 rat primary microglia에서 NO 생성과 iNOS의 발현뿐만 아니라 TNF-a, IL-1b, IL-6와 같은 cytokine의 발현을 저해시키고, NF-kB의 활성화를 억제시키는 것으로 보고되고 있다[84]. 이러한 결과는 대식세포에 대한 항염증효과가 뇌의 microglial cell에도 유사한 효과를 나타냄으로써 항염증 물질이 알츠하이머의 진전을 억제하는 것임을 나타내고 있다.
- 중국에서 류마티스 관절염의 치료제로 사용되는 미역줄나무(*TripterygiumwilfordiiHook.F*)는 염증억제효과가 있는 것으로 보고되고 있다[85,86]. Microglia 세포에 미역줄나무에서 분리된 tripchlorolide을 처리한 결과 TNF-a, IL-1b, NO, PGE2와 같은 cytokine의 발현을 저해시키고, iNOS와 COX-2의 발현, NF-kB의

translocation, 그리고 JNK의 인산화를 억제시키는 것으로 보고되고 있다[87].

- *Zingiberofficinale*의 뿌리인 생강에서 추출한 gingerol, shogaol 등은 항염증, 항암, 항산화, 항구토와 같은 다양한 효과를 가지고 있다. 생강 추출물은 비스테로이드계 항염증약으로 그리고 염증활성과 관련된 생화학적 경로를 조절한다고 알려져 있다[88]. Zingerone과 6-shogaol은 6-hydroxydopamine으로 유도된 dopamine depression 의 저해[89]와 신경세포의 아포토시스를 저해하는 것으로 보고되고 있다[90].
- 향신료, 채소, 과일 등에 풍부한 페놀성 phytochemical의 한 종류인 flavonoid는 항산화, 항암, 항염증 작용이 있다. Flavonoid 중에서 apigenin과 luteolin은 dendritic 세포와 basophils에서 각각 종양괴사인자인 TNF 수용체의 한 종류인 CD40와 CD40L의 발현을 감소시킨다고 보고되고 있다[91,92]. 또한 IFN-g로부터 유도된 microglia 세포에서 CD40의 발현을 농도의존적으로 감소시키고, TNF-a와 IL-6의 생성을 저해하고, STAT1의 인산화를 억제시킨다고 보고되고 있다[93].
- 분자적인 메카니즘에서 폴리페놀의 항염증 활성은 PPARg의 활성화를 통한 COX-2, LOX, iNOS 같은 pro-inflammatory의 저해, PI3K, NF-kB, c-JUN의 활성화 저해, 해독효소의 활성화, MAPK, PKC의 저해 등에 의한 것으로 보고되고 있다[94-97]. 과일, 적양파, 포도, 블루베리를 포함한 야채, 차, 브로콜리, 적포도주 등에 존재하는 quercetin은 LPS와 IFN-g를 처리한 BV-2 microglia에서 IKK, NF-kB, AP-1, STAT1, IRF-1의 활성화를 감소시켜 iNOS 발현과 NO의 생성을 억제시킨다고 보고되었다. 그리고 quercetin은 NF-kB의 DNA binding activity를 농도 의존적으로 저해시킴으로써 염증관련 단백질의 발현을 억제시키는 것으로 보고되고 있다[98].
- 이상과 같이 항염증활성을 나타내는 천연물들은 주로 그 활성이 항산화 활성으로부터 유래된다. 그리고 대식세포에서의 항염증 효과가 있는 물질은 뇌세포인 microglial cell의 활성화를 억제하여 proinflammatory cytokines의 생성을 억제하여 알츠하이머의 진행을 억제하는 것으로 알려져 있다.

2. 국내의 건강 신소재 기술개발 동향

- 현재까지 식물체의 자연식품에 풍부하게 함유되어 있는 것으로 알려진 색소성분과 배당체를 형성하고 있는 성분들은 다양한 생리활성을 지닌다는 새로운 사실에 관심이 고조되면서 이들에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구들의 대부분은 육상의 식물체에서 발견되는 성분들에 한정되어 있는 실정이다.
- 생리활성물질에 관한 연구는 대부분이 육상식물유래 polyphenol 화합물에 국한되어 있는 실정이다. 이는 육상식물에 비해 해조류에는 다량의 다당류가 존재함으로써 생리활성물질의 분리가 어렵기 때문이다. 본 기술개발로써 곰피 중의 항산화/항염증물질의 대

량분리공정이 확립될 경우 저가의 해조류로부터 고부가가치의 항산물질을 분리하여 상품화할 경우 어민의 소득증대는 물론 미역, 다시마, 김에 한정되어 있는 양식품종을 확대함으로써 양식해조류의 다양화로 인한 양식산업의 활성화가 기대된다.

- 건강기능성식품의 원료로 활용되는 대부분의 원료는 육상식물 유래의 phytochemical이 대부분이며, 해양자원으로부터 건기식의 원료는 DHA, EPA, glucosamine 등의 일부 품목으로 제한되어 있다. 해조류의 phlorotannin을 산업적으로 이용하기 위한 대량분리공정이 확립되어 있지 않기 때문에 기능성 소재의 활용이 미진한 실정이다.
- 해조 중에 다량 함유되어 있는 해조다당류는 혈장 콜레스테롤 저하효과, 항혈액 응고효과, 항암효과 등의 약리효과와 식이섬유로서의 영양상의 효과가 높은 것으로 밝혀졌으나, 저분자물질인 폴리페놀 성분의 기능성과 이들의 생리적인 효과에 관한 연구가 최근 활발히 진행됨에 따라 phlorotannins의 여러 가지 생리활성 효과가 밝혀지고 있으나, 이들의 기능성 식품소재로써 개발하기 위한 연구는 미진한 실정이다.
- 특히 해조류의 생리활성 물질에 관한 관심이 집중되면서, 여러 해조류에 대한 생리활성 분석 결과 갈조류에 다량의 phlorotannin류가 함유되어 있으며, 이들의 생리활성에 관하여 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히 갈조류 중에서, 감태, 곰피, 톳의 phlorotannin 함량이 높아 주로 이 3종의 해조류로부터 생리활성 물질에 관한 연구가 주로 진행되고 있다. 국내의 연구로써 감태로부터 분리된 3종의 phlorotannin 류를 분리하여 이들의 항엘러지 효과를 분석한 결과 phlorofucofuroeckol A이 효과가 높게 나타났으며[99] 톳으로부터 3종의 phlorotannin을 분리하여 이들의 항산화성을 분석 보고 하였다[100].
- 플로로탄닌류를 다량 함유하고 있는 감태 (Ecklonia stolonifera)에 관한 연구로는, 감태 추출물이 상피세포에 있어 암전이 관련 효소인 metalloproteinase (MMP)-2와 -9의 발현을 억제하는 것으로 보고 되었고[101], 효소분획물 또한 항산화 및 암세포 사멸효과가 있음이 보고되고 있지만, 구체적인 세포내 분자 기전에 대한 연구는 아직 이루어 지지 않고 있는 실정이다[102,103].
- 곰피에서 분리된 phlorotannin류의 생리활성에 관한 연구는 eckol과 dieckol을 폐 상피세포에 처리한 결과 NF-kB와 AP-1 전사활성을 감소시켰으며, 이러한 전사인자의 활성감소로 인한 MMP-1 저해효과는 내피세포중의 collagen 분해를 억제하여 주름생성을 방지하는 효과를 보고하였다[103].
- 곰피 추출물에서 phloroglucinol, eckstolonol, eckol, phlorofucofuroeckol, dieckol 및 triphloroethol-A의 5종의 phlorotannins가 분리되어 이에 대한 항산화 효과가 보고되었으며[104], 감태에서 분리된 triphloroethol-A가 γ-선에 의한 세포보호효과는 ROS감소에 의한 미토콘드리아의 산화적 손상을 감소시킴으로서 나타난다고 보고되어 있지만

[105], 구체적인 기전에 대한 연구는 아직 이루어지지 않고 있다.

- 갈조류의 에탄올 추출물을 LPS로 유도된 microglial 세포 (BV2 cell)에 처리한 결과 염증관련인자인 NO, PGE2, TNF-a, IL-1b를 농도의존적으로 저해하였고, MAPKs, NF-kB의 활성화와 ROS의 생산을 억제시키는 것으로 보고되고 있다[106]. 이러한 결과는 microglial 세포의 활성화 억제를 통하여 뇌에서의 염증반응을 억제함으로써 알츠하이머병의 진행 억제 가능함을 시사하고 있다.
- 국내의 항산화제 시장은 노화방지 측면에서 꾸준히 증가하고 있는 추세이며, 특히 주름개선용 기능성 화장품 시장의 급속한 성장으로 인한 항산화제 시장의 성장 속도는 타 제품에 비해 빠른 성장을 지속해오고 있다. 국내의 항산화제 시장은 기존의 vit. C와 tocopherol 제품에 더하여 한약제를 포함하여 육상식물유래 항산화제의 개발에 초점이 맞추어져 있으나. 해조류를 이용한 항산화제 제품은 아직 시장 진입이 되지 않고 있는 실정이다. 해조류의 항산화제 관련 제품의 시장 진입이 늦은 이유는 항산화 성분의 대량분리의 문제점과 분리된 소재의 관능적인 기호도가 떨어지는 것이 문제점으로 대두되고 있다.
- 항염증 기능성 제품은 주로 관절염의 예방 및 치료효과가 있는 glucosamine과 항산화제를 첨가한 한약제 제품들이 주를 이루고 있으며, 해조류를 원료로 한 제품 또는 소재는 개발되지 않고 있는 실정이다. 특히 갈조류(곰피, 감태, 대화, 톳, 모자반 등)로부터 항염증 물질에 관한 연구는 최근에 phlorotannin류가 분리되어 이들의 항염증 활성이 규명되었기 때문에 그동안의 축적된 연구 data들이 부족한 원인 것으로 판단된다. 항염증 소재는 고령화와 더불어 야기될 수 있는 관절염, 동맥경화, 항혈전, 신경통 등의 다양한 질병에 적용될 수 있으며, 특히 최근에 알츠하이머성 치매 또한 뇌세포의 염증과 관련이 있다는 논문들이 나오면서, 항염증 소재개발에 관한 많은 연구개발이 진행됨으로써 향후 시장은 급속히 확대될 전망이다.

제 5 절 생물학적 전환공정 개발

해조류를 이용하여 바이오에탄올을 생산하는 방안은 EU, 일본 및 우리나라가 검토 중이나, 우리나라만이 해조류 에탄올 생산 기술 개발에 성공하였으며 다른 선진국의 해당 기술에 대한 사례는 전무한 실정이다. 현재까지 전세계적으로 해조류를 원료로 한 바이오에탄올 생산시설의 사례는 찾아볼 수 없다.

극내에서는 일부 육상자원를 활용하여 제한된 바이오매스에 대한 일부 전처리 및 분별 연구를 수행하고 있으며, 소규모의 기초 연구 및 응용에 대한 가능성을 확인하는 수준이다. 발효 균주 개발의 기초 기술 수준은 높은 편이나, 바이오알콜 이외의 탄화수소계 바이오연료 관련 균주에 대한 연구는 미진한 편이다. 현재, SK에너지와 GS칼텍스와 같은 수요기업과 연구기관인 한국과학기술연구원, 한국화학연구원, 한국과학기술원 등에서 차세대 바이오연료인 바이오부탄올 생산기술 개발 진행 중에 있다.

1. 일본의 생물학적 전환공정 개발에 대한 기술개발 동향

일본의 경우 *Sphingomonas* sp. A1를 이용한 alginate lyase 연구가 Murata, K. 그룹에서 활발히 이루어지고 있다. 2000년 이전의 4건의 endo-type alginate lyase에 대한 보고를 하였으며 2000년 이후 단당 전환효소를 세계 최초로 보고하였다. 이 단당 전환효소는 oligoalginate lyase로 명명되었으며 문헌상으로 보고된 것은 이 효소를 포함해 두 건에 불과하다. 이와 같이 전환된 효소에 의해 생성된 DEH 라는 산물을 일반 균주의 대사경로를 통해 이용하기 위해 전환효소의 개발을 하기 위한 후속 연구를 2010년도에 발표하였으며 조만간 완전한 대사 경로에 대한 발표가 이루어 질 것이라고 예측된다.

일본 수산청이 5년(2007~2011년) 사업으로 해조류 및 수산가공부산물을 이용한 바이오연료 생산 연구를 추진하고 있으며, 기능성 성분 추출 등 고부가가치화 기술 개발, 연료·에너지 변환기술 개발, 원료 조달 등에 관련된 정보 수집·경제적 분석 등 리파이너리(Refinery) 시스템 구축 검토의 3개 과제가 계획되어 추진되고 있다. 또한, 일본 수산청은 해조류를 일반적인 효모균으로 발효하여 에탄올을 생산하는 실험을 진행하고 있으며 지금까지의 실험을 통해 원료중량 당 바이오연료 생산 가능량을 규명해 냈는데, 비용 측면에서 볼 때 아직 많은 장애물이 존재한다고 밝히고 있다.

2. 유럽의 생물학적 전환공정 개발에 대한 기술개발 동향

노루웨이 대학 소속 Horn, S. J. 그룹에서는 크게 두 가지 연구를 하였은데, 갈조류에 해당하는 *Ascophyllum nodosum*와 *Laminaria hyperborea*를 협기적으로 소화하여 methane을 생산하는 연구와 ethanol에 대한 생산 연구를 하였다. ethanol 생산을 위해 신

종 균인 *Zymobacter palmae*을 동정하여 그 균주로 mannitol의 대사를 확인하였고, seaweed extract를 통해 ethanol 생산에 대한 연구를 하고 있지만, 주성분인 alginate에 대한 분해에 대한 연구와 대사공학적인 접근이 없이 alginate를 추출하여 commercial alginate로 사용하는 전략을 갖고 있기 때문에 전체적인 brown algae의 연료화나 상업적 소재화에는 제한이 따르는 실정이다.

네덜란드 Energy Research Center of the Netherlands(ECN)을 중심으로 2040년까지 네덜란드 북해 영해의 10%에 해당하는 5000 ㎢ 해조류 양식 및 이를 이용한 바이오에너지(에탄올, 메탄, 수소 등) 생산 계획을 추진중이다.

3. 미국의 생물학적 전환공정 개발에 대한 기술개발 동향

미국은 1960년대 전후로 alginate lyase와 단당 전환효소등에 대한 연구를 하였는데, 조효소를 정제하여 활성을 측정한 것으로서 산업적인 이용을 위해 대량 생산에 관한 연구는 아직 일본에 비해 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

미국 다우케미컬(Dow Chemical)과 알게놀 바이오연료(Algenol Biofuels)는 미세조류 (microalgae)를 이용해서 이산화탄소를 에탄올로 전환하는 Pilot Plant를 통한 바이오에탄올과 플라스틱의 원료의 생산계획을 2009년에 발표. 에탄올생산비용 0.26$/L를 목표로 하고 있다.

4. 국내의 생물학적 전환공정 개발에 대한 기술개발 동향

최근 삼성종합기술원 바이오에너지 연구팀에서 국내 특허 및 PCT 특허를 냈으나 화학적인 처리를 통해 에탄올을 생산하는 방법이다. 이와 같은 방법을 이용할 경우 갈조류의 다른 구성성분의 전환은 이루어지나 주성분인 alginate의 이용이 제한되기 때문에 경제적이지 못하고 사용된 조효소 역시 산업적인 응용을 위한 수율이나 생산성 측면에서 많은 제약이 따른다. 효소적인 분해 결과들은 현재 endo-type에 국한되어 있는 실정이다.

한국생산기술연구원(KITECH)은 다단계당화법, 직접당화법 등을 통해 우뭇가사리 등 홍조류를 이용하여 총 전환수율이 20~32%인 바이오에탄올을 제조하는데 성공하였으며, 홍조류를 이용한 바이오에탄올 생산에 관한 세계 최초 원천기술 특허를 확보하였다. 이를 기반으로, 신·재생에너지 기술개발 사업(원천기술개발)으로 2008년 10월부터 2011년 7월까지 “홍조류 유래 바이오에탄올 생산기술개발” 수행하고 있다. (주)바이오올시스템즈에서는 국가전략사업을 통해 Pilot Plant(Batch 1,000 L/d이상, 연속식 4,000 L/d 이상) 구축하여 엔지니어링 및 생산 공정 기술을 확립하고, 조기에 홍조류 유래바이오에탄올 실용화를 위한 국가 연구개발 사업을 진행 중에 있다. 또한, 수산과학원은 갈조류 1톤에서 23리터의 수송용 바이오에탄올을 추출하는 기술을 개발하여 2009년부터 5년간 실용화

연구를 산학연 공동으로 추진할 것이라고 발표하였다. 산학연 공동개발을 추진하고 있는 해조류 바이오 연구단에는 SK에너지, 부경대 등이 참여하고 있다.

제 3 장

해조류 바이오매스의 대량생산

제 1 절 대상종 탐색 및 선정

제 2 절 외해 해면양성 및 생산관리시스템

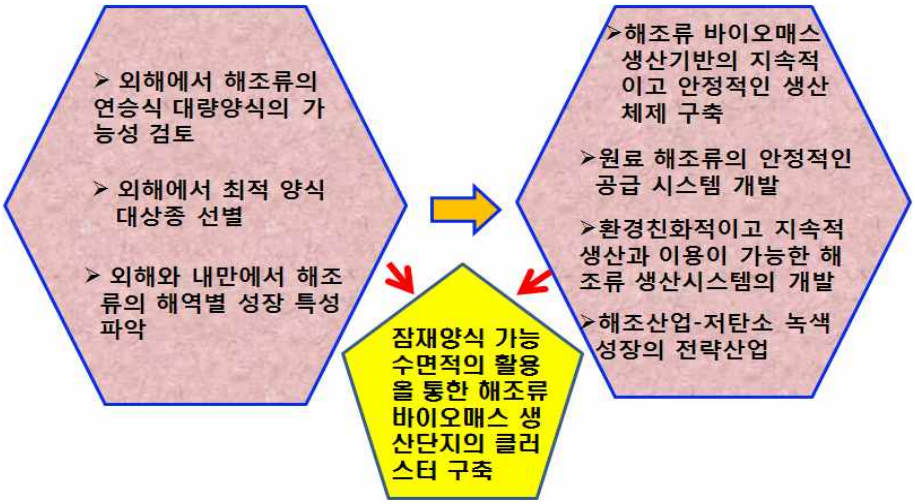
제 3 절 양식시설 환경 모니터링

제 3 장 해조류 바이오매스의 대량생산

제 1 절 대상종 탐색 및 선정

1. 연구의 목적 및 내용

국내외에서 바이오에너지 및 기능성 측면에서 필요한 해조류의 양식기술은 일반화되어 있으나 대상 해조류 가운데 에너지 효율이나 기능성 물질의 생산성 면에서 대상종의 탐색이나 양식적지에 대한 구체적인 정보는 매우 부족하다. 따라서 내만과 외해에서 해조류의 연승식 대량양식의 가능 여부, 외해에서 최적 양식 대상종 선별하는 문제, 해조류의 해역별 성장 특성을 구명하는 일은 매우 중요한 과제라 할 수 있다. 또한 연중 바이오매스 해조류의 대량생산 시스템을 개발하고 새로운 바이오매스 대상종을 발굴하는 것과 대량생산을 위한 적지를 확보하는 문제 등은 아직 확실히 구명하지 못하고 있다. 실제로 감태나 곰피의 경우 바이오매스 대량생산 대상종으로 다시마에 비해 성장속도나 단위면적 및 단위시간당 생산량은 떨어지는 것으로 판단할 수 있지만 생리활성 등의 기능성 물질의 생산성 측면에서는 다시마를 능가할 수 있다. 또한 모자반의 경우 식용으로서는 괭생이모자반보다 소비자의 선호도가 높고 경제성도 뛰어나지만 바이오매스 대량생산 측면에서의 생산성은 괭생이모자반의 절반에도 미치지 못한다는 약점이 있다. 따라서 해조류의 생리, 생태적 특성이나 기능성 등을 고려한 측면의 대상종 탐색 및 대량생산 적지조사는 매우 의의가 큰 과제라 할 수 있다. 따라서 이러한 문제들을 해결하고 그 방안을 제시하고자 하는 것이 이 연구의 가장 큰 목적이다.
연구의 목적 및 내용을 도식화하면 [그림 3-1-1]과 같다.



[그림 3-1-1] 연구의 목적 및 내용.

2. 연구내용

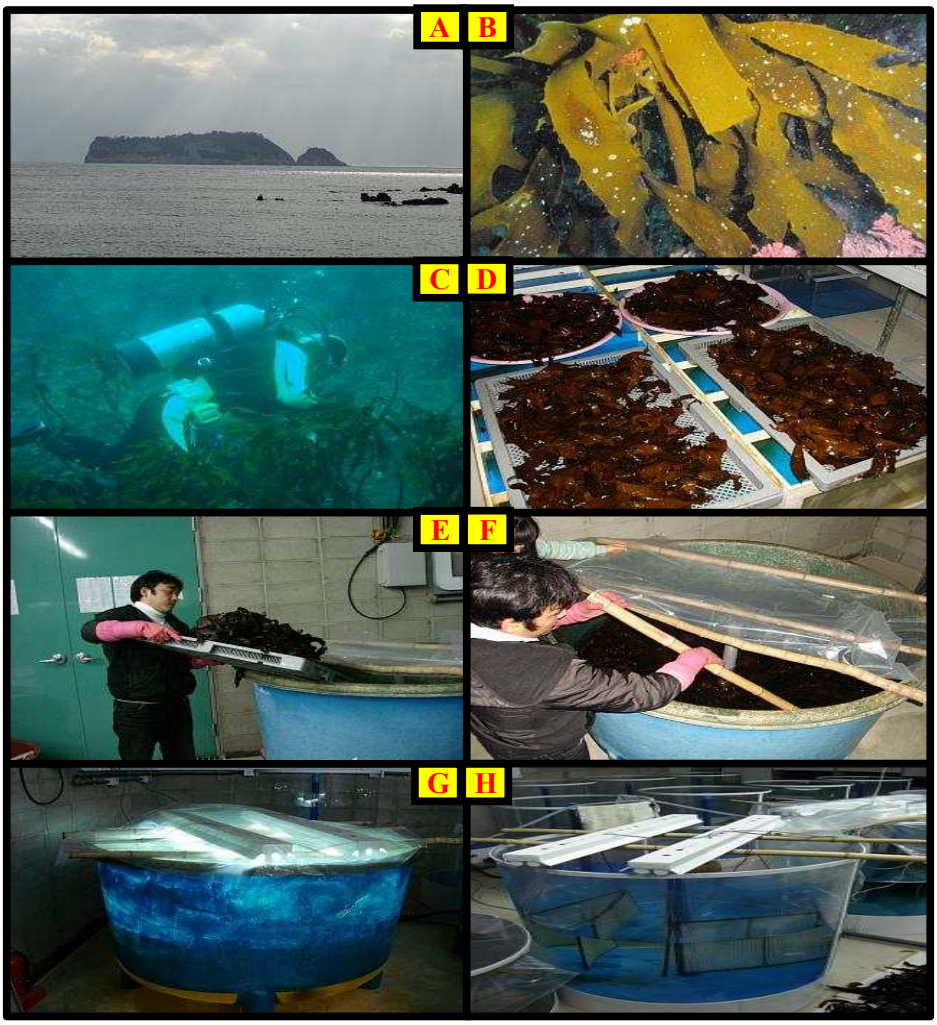
해조류 양식종 및 적지선정 분야에서는 외해에서 해조류의 연승식 대량양식이 가능한지를 구명하고, 외해에서 최적 양식 대상종을 선별하며 외해와 내만에서 해조류의 해역별 성장 특성을 파악하는데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 남해 중부해역과 서부해역의 외양에 실험해역을 추가하였고 이를 통해 해역별, 품종별 단위면적당 양식생산성 조사, 품종별 적정 양식기법 조사 및 생산량 추정에 의한 새로운 대상종을 발굴하고자 한다. 이를 통해 바이오매스용 해조류의 대량생산 적지가 선정되면 해조류의 대량양식을 통한 바이오매스 생산기반을 구축하고, 해역별 대량생산 적지를 단지화하여 지속적이고 안정적인 생산체제 가동을 통한 원료 해조류의 안정적으로 공급 시스템을 개발함으로써 해조류 산업을 저탄소 녹색성장의 전략산업으로 육성하는데 있다. 또한 지속적인 기술개발을 통해 해조류 바이오매스의 연중생산 시스템을 개발, 구축함과 동시에 부수적으로는 해조류의 생산해역별 성분조사, 환경친화적이고 지속적 생산과 이용이 가능한 해조류 생산시스템의 개발 및 잠재양식 가능 수면적의 활용을 통한 해조류 바이오매스 생산단지를 클러스터화 하는데 있다.

2. 연구방법

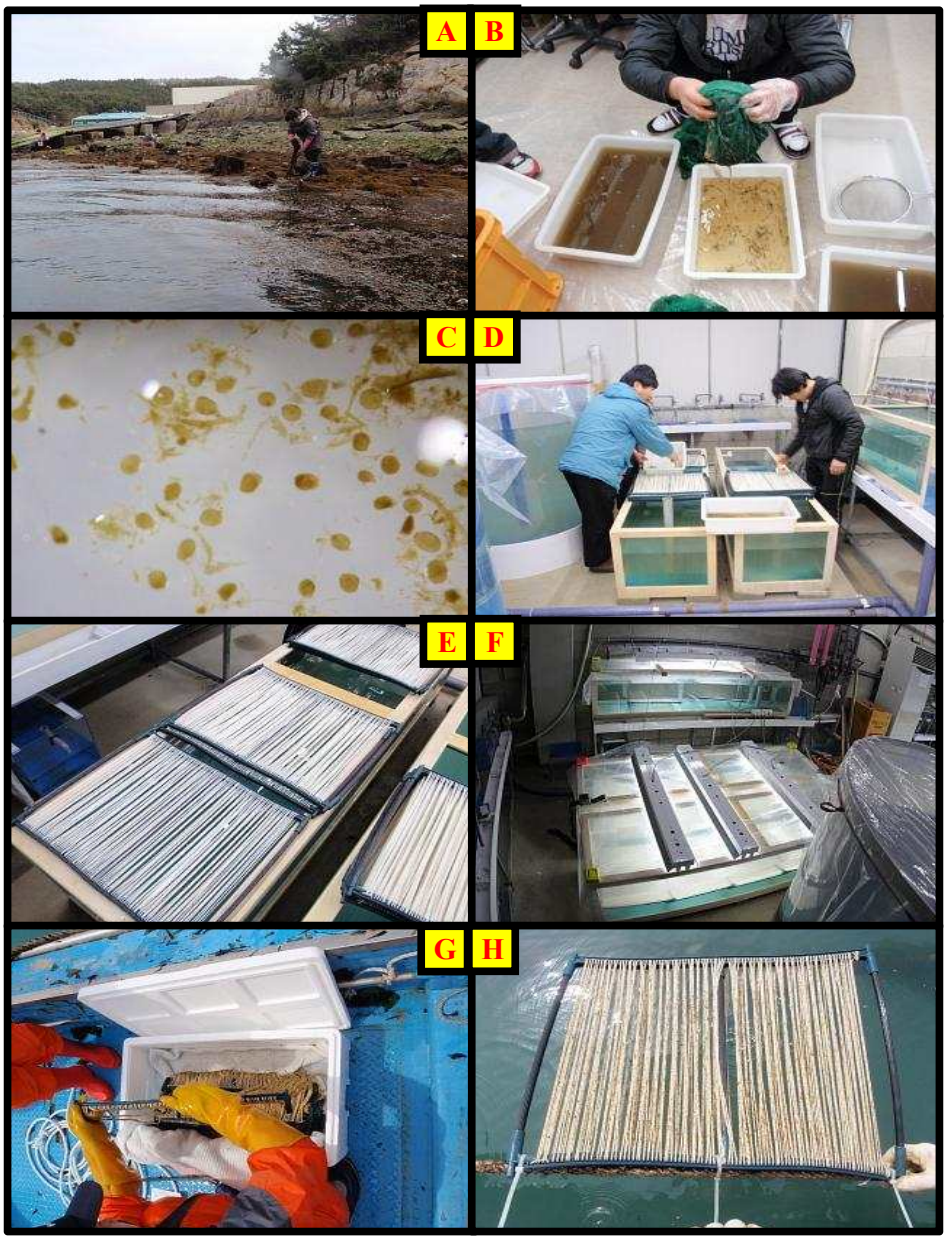
가. 종묘구입, 모조의 확보 및 종묘생산

대상종의 탐색 및 적지선정을 위한 대상종으로는 성장이 빠르고 대량생산이 가능한 다시마와 다시마목 대형갈조류인 감태와, 곰피, 괭생이모자반을 선택하였다. 연구일정

이 촉박한 관계로 다시마는 양식어민들이 종묘생산업자로부터 구입해 쓰는 종묘를 구입하여 사용하였고 감태와 곰피는 12월에 각각 제주와 통영에서 스킨스쿠버다이빙에 의한 방법으로 채집한 모조로부터 유주자를 채묘하여 경상대학교 해양생물교육센타 사육실에서 배양, 재배한 종묘를 사용하였다([그림 3-1-2]). 괭생이모자반은 통영연안에서 2011년 3월에 성숙한 모조를 채집하여 배양한 종묘[그림 3-1-3]로서 현재 경남 통영의 비진도의 외해에 시설한 연구교습어장과 완도군 금일읍 평일도의 외해 어장에 시설된 연구교습어장에서 각각 시험 양성중에 있다. 또한 추가로 종묘를 확보하기 위해 2011년 6월 제주도 서귀포시 섶섬의 조하대에서 유배를 방출하지 않은 성숙 엽체를 채취하여 채묘한 종묘를 실내배양 한 후 통영 비진도의 연구교습어장에서 가이식하여 양성 중에 있다.



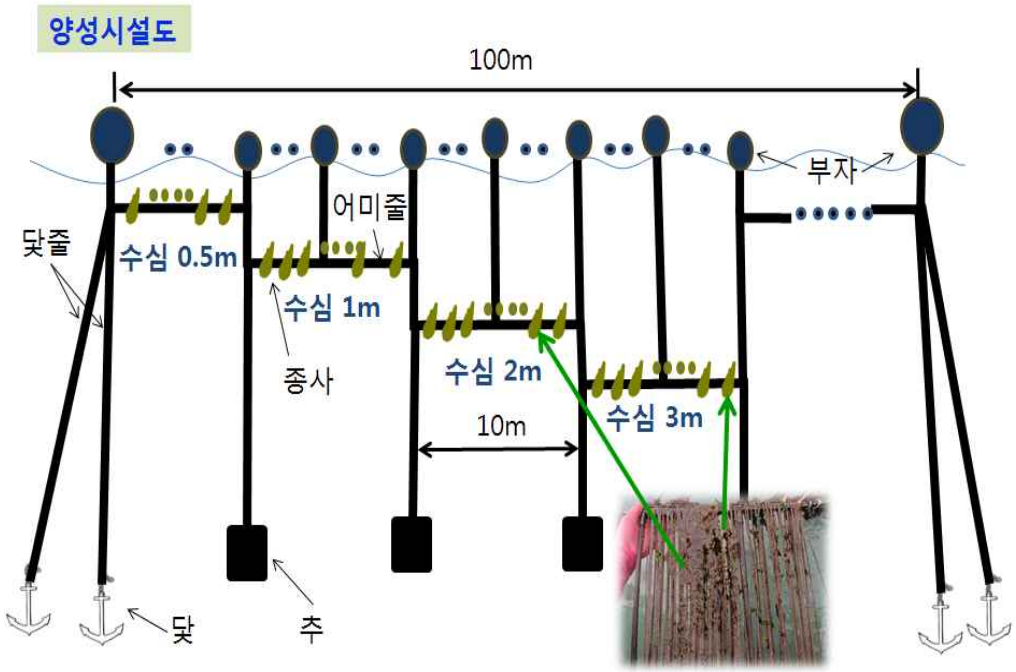
[그림 3-1-2] 제주산 감태의 모조 채집 및 유주자 채묘과정. A, 범섬 전경; B&C, 수중의 성숙감태와 모조채취 모습; D, 음건; E, 유주자액 만들기; G&H, 종묘의 수조배양



[그림 3-1-3] 괭생이모자반의 모조채집, 유배채묘 및 종묘생산과정.
A, 모조의 채집; B, 유배액만들기; C, 채묘한 유배;
D-F, 유배의 채묘 및 배양; G&H, 배양종묘의 가이식

나. 대상종 탐색 및 적지선정을 위한 시험양식

시험양식은 현제 완도군 금일읍 사동어촌계와 부산 기장군 문동리 어촌계 어장에서 수행하고 있는데 다시마는 2011년 7월 중순까지 시험양식을 수행하였고, 감태는 가이식 후 입식하여 현재까지 시험양식을 계속하고 있으며 현지 어촌계장 및 관리인의 협조를 얻어 시설을 철거하지 않고 월하하면서 시험양식을 지속적으로 수행할 예정에 있다. 양식은 일반적으로 어민들이 수행하고 있는 표층 50cm 수층을 대조구로 하고, 1m, 2m, 3m수심에서 각각 양성시험을 수행하였다([그림 3-1-4]).



[그림 3-1-4] 대상종 탐색 및 적지선정 연구의 대량양식 시험어장 시설도.

다시마 종묘의 크기는 5mm전후의 유아상태로 완도 금일에서는 2010년 12월 1일에 종묘를 입식하였고, 기장에서는 2010년 12월 6일에 같은 크기의 종묘를 입식하였다.

조사는 매월 1회 시험양성중인 다시마를 각 수층별로 한 클러스터씩 채취하여 실험실로 운반한 후, 조체의 엽장, 엽폭, 뚜께, 엽중량을 측정하고 착생개체수를 계수하여 매달 감모되는 양을 비교하였다. 감태의 경우 엽장, 경장, 엽중을 조사하였고, 괭생이모자반은 계속 수행중에 있으나 4월 채묘 후 가이식까지의 기간동안 어린 종묘상태여서 성장도 조사를 수행하지 않고 있으나 차년도에 이어서 수행될 예정인 과제의 계속과제로서 성장도 및 생육특성을 조사할 예정에 있다. 한편 조사를 수행하면서 또한 현장 채집과 동시에 현장에서 수온, 염분 및 수중광량을 측정하였고, 시험기간 중의 일조량은 기상청의 자료를 이용하여 분석하였다([그림 3-1-5~그림3-1-8]).

엽장, 엽폭은 50m줄자를 이용하여 0.1cm 단위까지 측정하였고, 엽중량은 메틀러 PC-4400전자저울을 이용하여 0.1g 단위까지 측정하였다. 엽체의 두께는 Leica 스테레오 해부현미경을 이용하여 0.1mm단위까지 측정하였다. 측정 및 관찰과 동시에 자낭반의 형성 유무 등 성숙상태를 확인하였고 유주자를 받아 배우체로의 발아 및 아포체 생산이 가능한지를 확인하였다.

[그림 3-1-5] 다시마의 종묘입식 및 본양성 시험과정.

[그림 3-1-6] 양성시험 다시마의 표본채취 및 측정과정. A&B, 기장; C&D, 완도; E&F, 엽장 및 엽중 측정; G&H, 두께 측정

[그림 3-1-7] A-F, 완도에서의 감태종묘의 입식 및 시험양성 시설의 시설과정.

[그림 3-1-8] A-F, 시험양성 중인 감태의 표본채집 및 측정과정.

3. 연구수행 결과

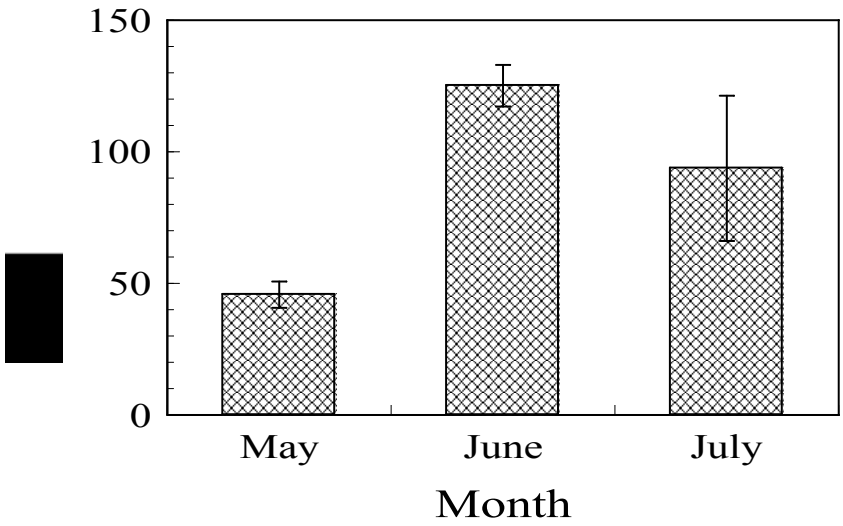
가. 기장과 완도해역 연구교습어장에서의 다시마 및 감태의 성장도

(1) 연구교습어장에 시설한 시험양식 다시마의 성장도

(가) 엽장

외해 어장의 경우 시설이 늦어진 관계로 12월에 확보한 전복 먹이용 다시마 종묘를 가이식 상태에서 4월에 내만의 일반 다시마 양성장에 입식한 후 엽장 45cm 내외로 성장한 엽체를 5월에 수심 0.5m에 입식하여 6월에 125.1cm로 성장하였고 이후 끝녹음으로 인해 7월에는 93.7cm로 감소하였다([그림 3-1-9]). 외해 교습어장에 시설한 다시마 엽체는 월하상태에서 양성시험을 계속하고 있으며 신규로 입식되는 다시마 종묘의 성장과

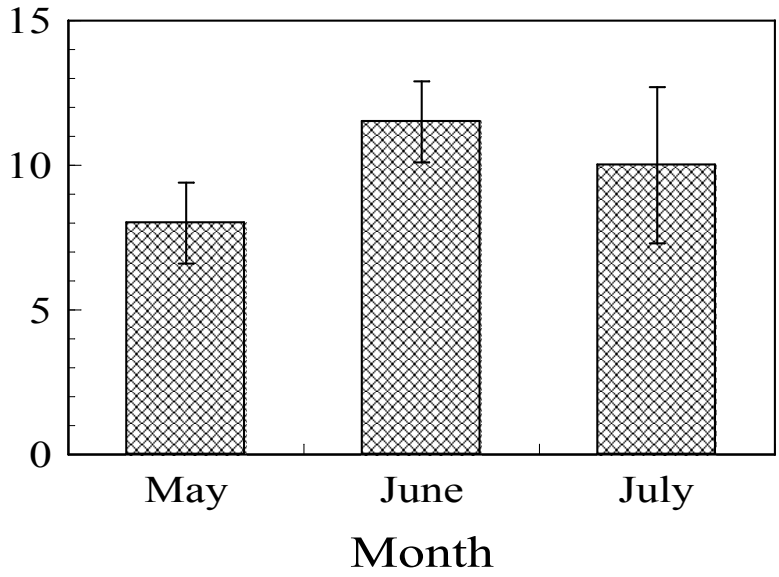
더불어 월하 다시마의 월하 후 생장상태와 생산성에 대해서 지속적으로 조사, 검증할 계획에 있다.



[그림 3-1-9] 연구교습어장 양식 다시마의 엽장의 변화.

(나) 엽폭

엽폭의 경우 엽장과 달리 엽체의 선단부에서 발생하는 끝녹음 현상이 나타나지 않기 때문에 생장이 지속적으로 이루어져 5월에 8.0cm, 6월 10.0cm로 성장하였고 이후 고수온기인 7월에는 생장속도가 다소 떨어져 11.5cm로 성장하였다([그림 3-1-10]). 연구교습어장의 시험양식 다시마도 엽장과 함께 익년도의 생장변화를 지속적으로 모니터링 할 계획이다.



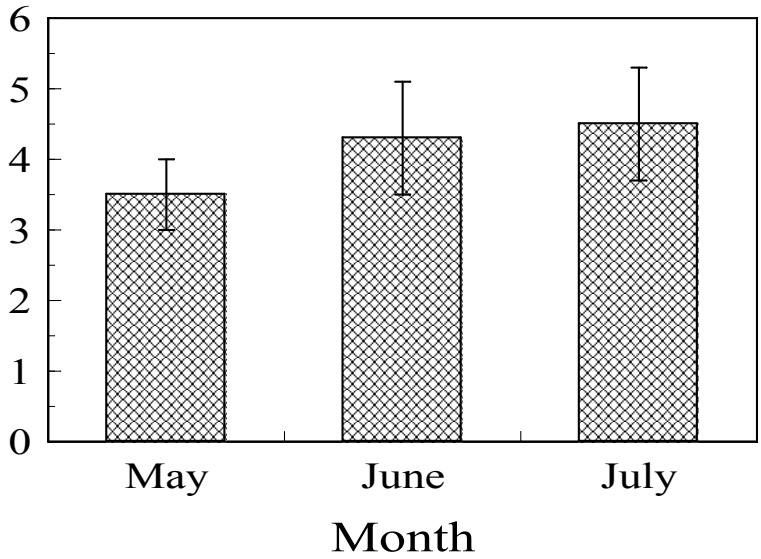
[그림 3-1-10] 연구교습어장 양식 다시마의 엽폭의 변화.

(다) 경장

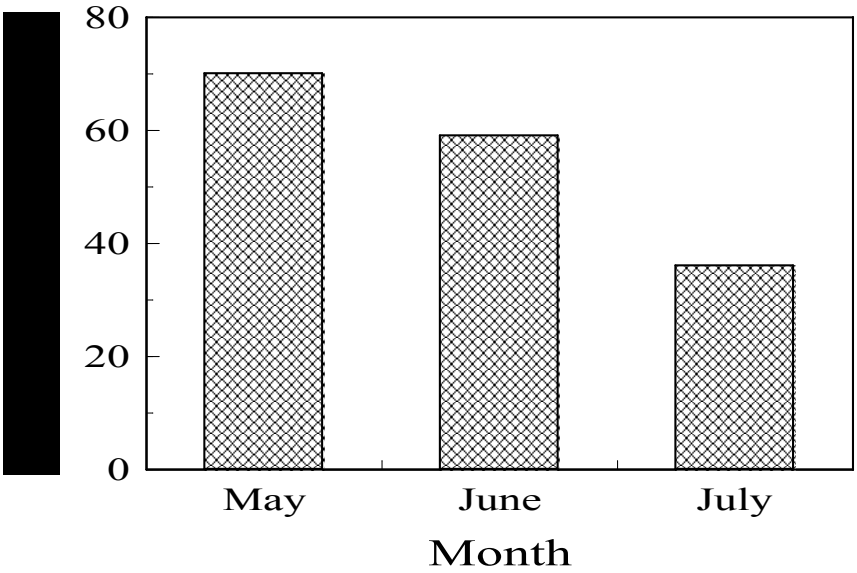
경장의 경우도 끝녹음과 관련없이 지속적으로 생장이 이루어져 5월 3.5cm, 6월 4.3cm, 7월 4.5cm로 지속적으로 성장이 이루어졌다([그림 3-1-11]). 경장의 경우 다시마가 양성되고 있는 환경에 따라 변화하는 것이 일반적인데 대체로 파도가 강하거나 조류가 빠른 곳의 다시마에서 줄기가 짧아지고 굵어지는 경향을 나타내는 것이 일반적이다.

(라) 개체수

외해에 시설된 연구교습어장에서 시험 양식중인 다시마의 클러스터당 부착 개체수는 내만의 시험어장에서와 같이 6월에 내습한 태풍 메아리의 영향으로 7월의 개체수가 전월 대비 배 이상으로 줄어 들어 5월에 70개체/클러스터, 6월 59개체/클러스터 였던 것이 7월에는 36개체/클러스터로 줄어들었다([그림 3-1-12]). 이는 태풍 외에도 고수온기의 생리적 특성도 관여하겠지만 양식 다시마의 개체수 감소는 너울성 파도나 태풍의 발생횟 수 등이 크게 영향을 미쳐 나타난 것으로 판단된다.



[그림 3-1-11] 연구교습어장 양식 다시마의 경장의 변화.

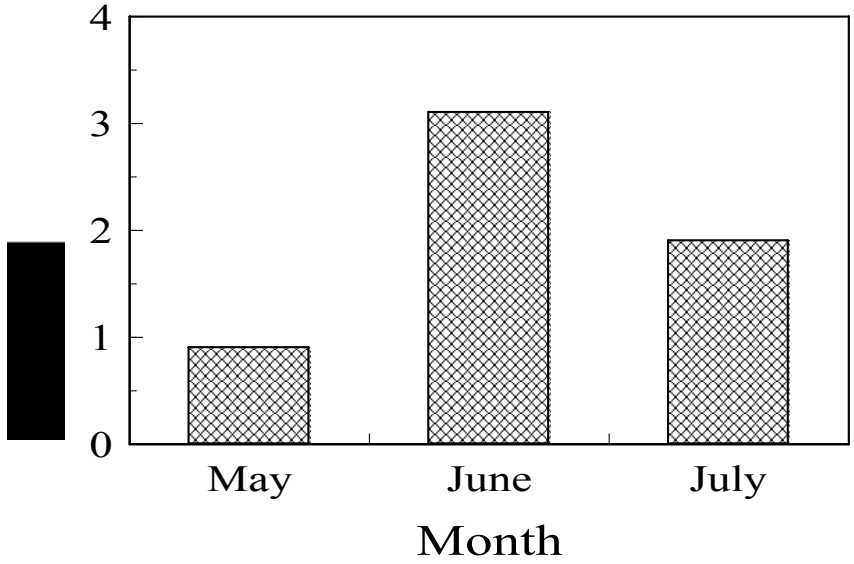


[그림 3-1-12] 연구교습어장 양식 다시마의 개체수 변화.

(마) 생체량

외해의 연구교습어장에 종묘를 입식한 후 3개월간 양성한 시험양식 다시마의 생체량은 5월 0.9kg/cluster, 6월 3.1kg/cluster, 7월 1.9kg/cluster로 나타나([그림 3-1-13]), 내만의 시험어장에서와 마찬가지로 생체량은 6월 전후에 최대에 달한 후 끝녹음이 급격히 일어나면서 7월이후 생체량이 급감하는 것으로 나타났다. 생체량은 해조류 바이오매스

대량생산을 위한 원료공급과 기능성물질의 양과, 질 측면에서 2년간의 비교 양식시험을 통해 비교 검토해 보아야 할 과제로 생각된다.



[그림 3-1-13] 연구교습어장 양식 다시마의 생체량 변화.

(2) 연구교습어장에 시설한 시험양식 감태의 성장도

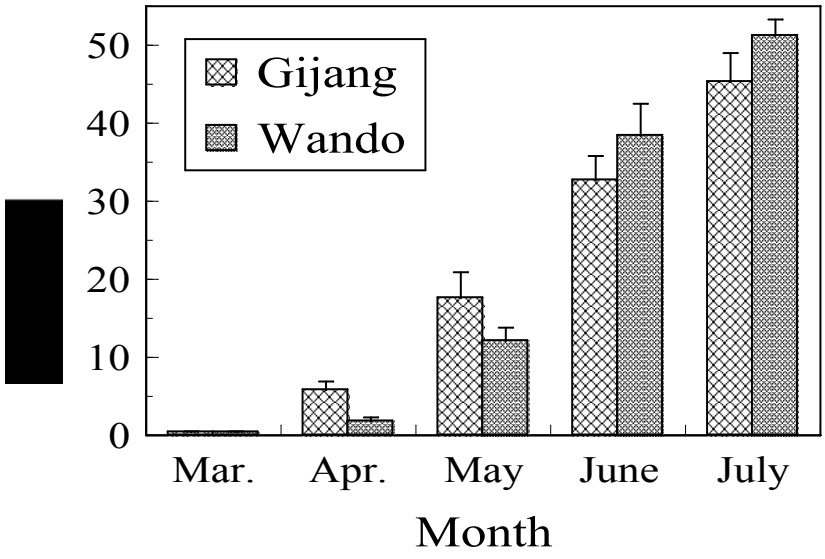
(가) 엽장

감태는 2010년 12월에 제주도에서 채집한 성숙모조를 이용하여 경상대학교 해양생물교육연구센터내 해조류 종묘배양실에서 유주자를 받아 채묘하여 종사를 만들었고, 이후 2개월간 실내에서 종묘를 배양하여 0.5cm로 생장한 종묘를 2011년 3월에 종사틀에 종묘가 착생한 상태로 기장과 완도에서 각각 1개월간 가이식 시킨 후 현재까지 본 양성실험을 수행 중에 있다. 현재까지 감태를 시험양식한 결과 기장에서는 7월에 엽장 평균이 최대 49.0cm로 성장하였고, 완도에서는 53.3cm로 성장하였다.

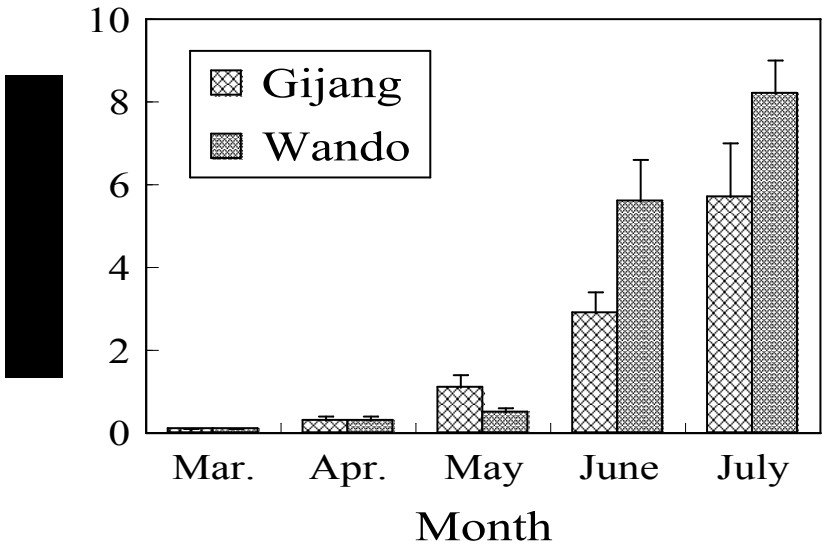
(나) 경장

감태의 경장도 다시마와 마찬가지로 조류, 너울성 파도 및 태풍의 강도에 따라 영향을 받으며 그 결과에 따라 줄기의 직경이나 길이가 변화하게 된다. 3월에 평균 0.1cm 내외였던 줄기부 길이는 기장에서는 7월에 경장 평균이 7.0cm로 자랐고, 완도에서는 9.0cm로 자랐다. 앞으로 기장과 완도를 포함 통영 비진도에 시험 양식되고 있는 감태

의 경우는 엽상부, 줄기부 및 부착기 등 환경조건에 따른 외부 형태변화를 모니터링 한 후 성장과 부착력 등을 분석하고 이를 대량생산과 연계하여 검토해야할 것으로 생각된다.



[그림 3-1-14] 시험양식 감태의 성장도.

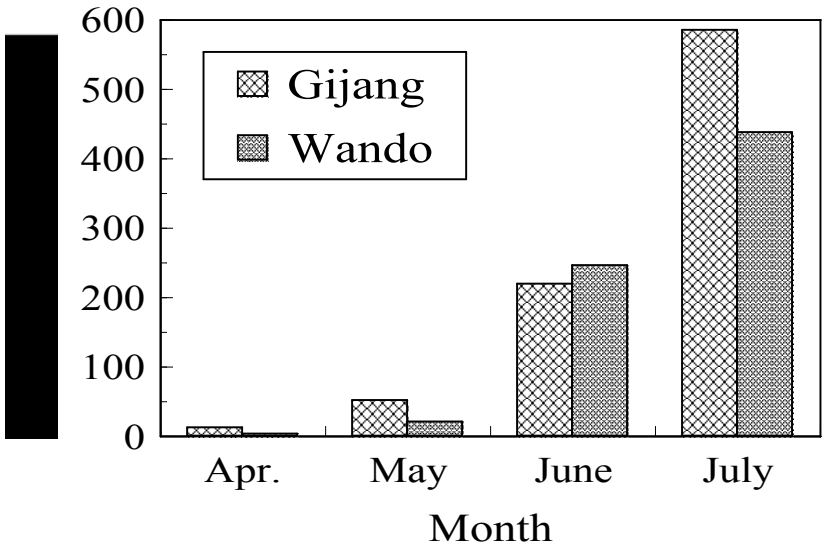


[그림 3-1-15] 시험양식 감태의 경장의 변화.

(다) 생체량

생산량을 비교하기 위해 기장과 완도 두 시험해역에서 시험 양식중인 감태가운데

가장 생장이 빠른 엽체 30개체를 대상으로 생체량을 비교하였다. 기장의 경우 30개체당 평균 생체량은 4월 12.0g에서 7월에는 584.7g으로 증가하였고, 완도에서는 4월 3.0g에서 7월 437.4g으로 증가하여 30개체당 생체량은 기장에서 큰 중량 증가를 나타내었다. 이는 고수온기인 여름철을 경과한 후 재검토해야 하겠지만, 감태가 난류성 해조라는 생리, 생태적 특성을 가진다는 점을 고려할 때 시험 양식기간 중에 나타난 기장해역의 고수온에 의해 이러한 생체량의 차이가 나타난 것이 아닌가 생각된다.



[그림 3-1-16] 시험양식 감태의 생체량 변화.

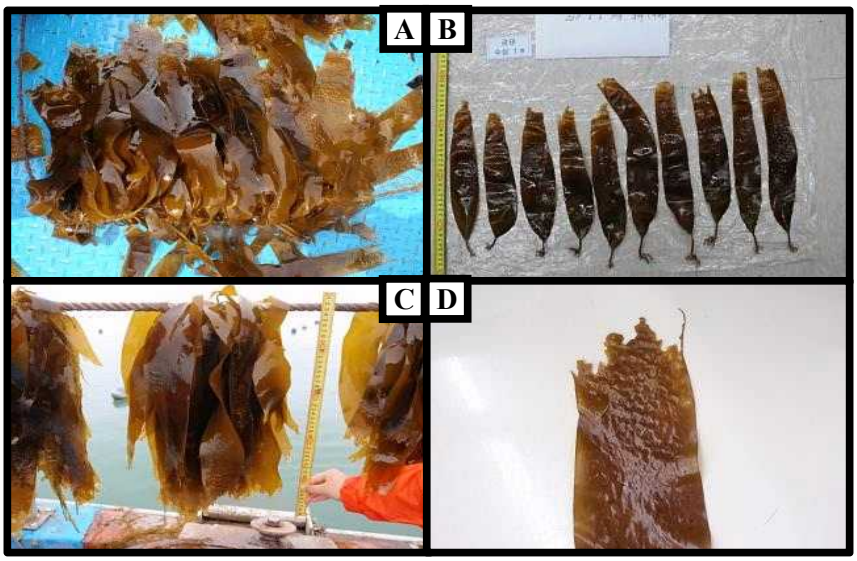
(라) 감태의 끝녹음

감태는 5년 이상 생존하는 다년생 해조의 특성을 가지는 해조이며 조하대 5m 이심부터 군락이 발달하는 해조이다. 따라서 표층 가까이에 수하연승으로 양식하는 감태의 경우 자연상태에서 보다 빠르게 끝녹음이 진행되는 것을 관찰할 수 있다. 감태의 끝녹음은 기장과 완도에서 6월에 나타나기 시작하여 7월 현재 엽체 선단부의 일부가 유실되는 현상이 계속되고 있다([그림 3-1-17]). 이러한 감태의 끝녹음은 자연적인 현상으로 양성수심별로 나타나는 끝녹음의 정도와 계절적 변화 등을 대량생산과 연계하여 지속적으로 조사, 검토해 볼 예정이다.

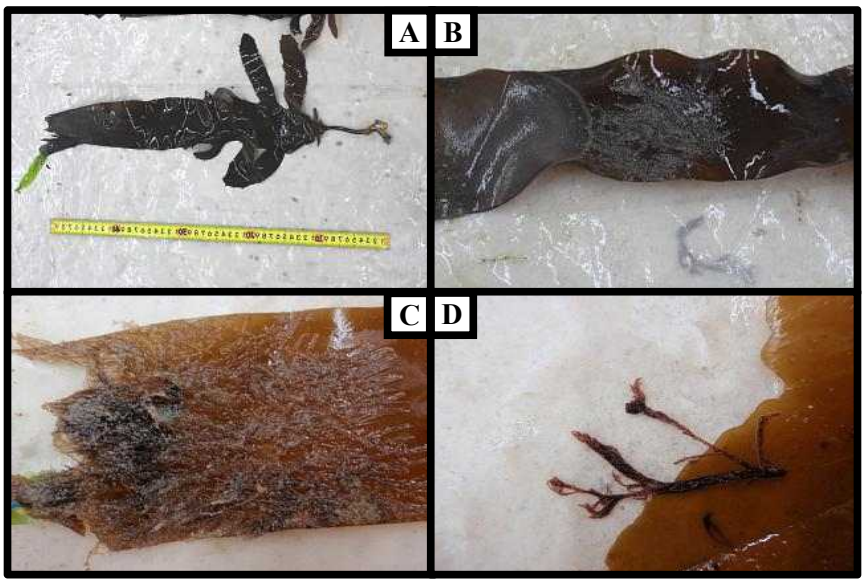
(마) 감태의 해적생물과 착생생물

기장과 완도해역에서 시험 양식 중인 감태의 엽면에 서식하는 해적생물과 착생생물로 톱니막이끼벌레(*Membranipora serrilamella*)와 테히드라(*Sertularella levigata*)류와 같

은 동물군과 홍조류 붉은실속(*Polysiphonia*) 해조로서 7월초에 집중적으로 나타나기 시작한다[그림 3-1-18]. 기장에서는 다시마와 마찬가지로 톱니막이끼벌레가 엽체의 전면적으로 확산되는 현상을 보이며 선단부의 끝녹음이 일어나는 부위에서는 테히드라류가 집중적으로 착생하는 특징을 나타낸다. 반면 완도에서는 테히드라류와 붉은실속 홍조류가 끝녹음이 나타나는 엽체의 선단부에서 나타나나 기장산에 비해 착생생물이 비교적 적게 출현하는 특징을 나타낸다. 해적생물과 착생생물의 경우 다시마와 마찬가지로 생산량과 기능성물질의 획득 측면에서 비교, 검토가 이루어져야 될 것으로 생각된다.



[그림 3-1-17] 시험양식 감태의 끝녹음 현상.
A&B, 기장산 엽체; C&D, 완도산 엽체



[그림 3-1-18] 시험양식 감태의 해적생물 및 착생생물.
A&B, 기장산 감태에 착생한 톱니막이끼벌레(*Membranipora serrilamella*)와 테히드라(*Sertularella levigata*)류; C&D, 완도산 감태에 착생한 테히드라(*Sertularella levigata*)류와 홍조류 붉은실속(*Polysiphonia*) 해조

나. 생산성의 검토

현재까지의 시험양식 결과를 토대로 다시마의 생산성을 검토하면 1년생 다시마의 경우 끝녹음이 집중적으로 나타나는 7월 이전에 수확하는 것이 다시마의 질적인 측면뿐만 아니라 대량생산에도 유리하다. 또한 다시마 대량생산을 위해서는 50cm 간격으로 종묘를 삽식하는 것보다. 25cm 간격으로 종묘를 삽식하는 것이 대량생산에 유리한 것으로 나타났다. 다시마 양식 어업인들에 대한 청문조사를 통해현재와 같이 솎음양식 등 상업적 방법으로 양식하여 다시마를 생산할 경우 최대 50,000kg.w.wt./ha를 생산할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 어업인들이 다시마를 생산하는 현행 양식방법을 배제하고, 본 과제에서 도출된 최대생산량을 현행 연승 수하식 해조류 양식의 법적 시설량(20대/ha, 1대는 연승 100m로 1ha는 연승 2,000m에 해당)에 대입하여 시험생산량을 산출 비교해 보면

기장의 경우, 연승 1대의 길이 100m, 종묘삽식시의 클러스터 간격을 25cm, 최대생산량 16.3kg/클러스터를 적용하면,

(100m/25cm) ×20/ha×16.3kg/cluster=130,400kg.w.wt./ha(기장)을 생산할 수 있고

완도의 경우 같은 규격에 종묘삽식시의 클러스터 간격 50cm, 최대생산량 24.3kg/클러스터를 적용하면,

(100m/50cm) ×20/ha×24.3kg/cluster=97,200kg.w.wt./ha(완도)을 생산할 수 있다.

따라서 제품의 질을 배제하고 해조류 바이오매스 대량생산만을 목적으로 한다면 종묘의 삽식간격을 25cm로 조정하고, 솎아주지 않는 것이 대량생산에 유리하다.

그럼에도 불구하고 이 방법에는 몇 가지 고려할 점이 있다. 그것은 대량생산을 위한 밀식 시설에 따른 시설자재비 및 어장관리비 증가의 부담이 있다는 점과 수확기 이전에 태풍이나 너울성 파도가 내습할 경우 어장 시설이 파괴될 수 있다는 문제점이 있다. 이러한 부분은 다시마 어장의 연승을 깊은 수심으로 내려준다거나 하는 등의 대비책을 강구해야 될 것으로 판단된다.

감태의 경우 엽상체가 아직 최대생장에 이르지 못했기에 생산량 평가에서는 제외하였으나 부착기질에 착생하는 부착기의 착생력이나 기질을 점유하는 특성 등이 다시마와 다르기 때문에 종묘의 삽식간격을 고려한 대량생산 시험을 추진해 볼 필요가 있다.

다. 대상종의 탐색 및 적지

이제까지의 결과에서도 알 수 있듯이 대량생산 대상종으로서 양성기간, 성장속도, 생체량 등을 고려할 때는 다시마가 월등이 우수한 종임은 입증되었다. 그러나 기능성 물질의 획득 측면에서는 감태가 훨씬 우수한 것으로 알려져 있어, 바이오매스 대량생산만으로 감태를 평가할 것이 아니라 기능성에 초점을 두고 평가해야 할 것으로 생각된다. 곰피의 경우 부착기질의 특성상 초기에 종묘가 탈락하는 경향이 있고, 본 연구에서도 입식된 종묘가 초기에 탈락, 유실되어 소기의 성과를 거두지 못했다. 이 부분은 추가로 구명할 에정에 있으며 괭생이모자반은 생리특성상 종묘생산이 늦게 이루어질 수밖에 없었기에 현재 계속수행중인 시험양식 결과를 모니터링하면서 추계와 동계의 생장시험 결과를 통해 추가로 대상종으로서의 특성과 생산량을 비교하여 분석할 예정에 있다.

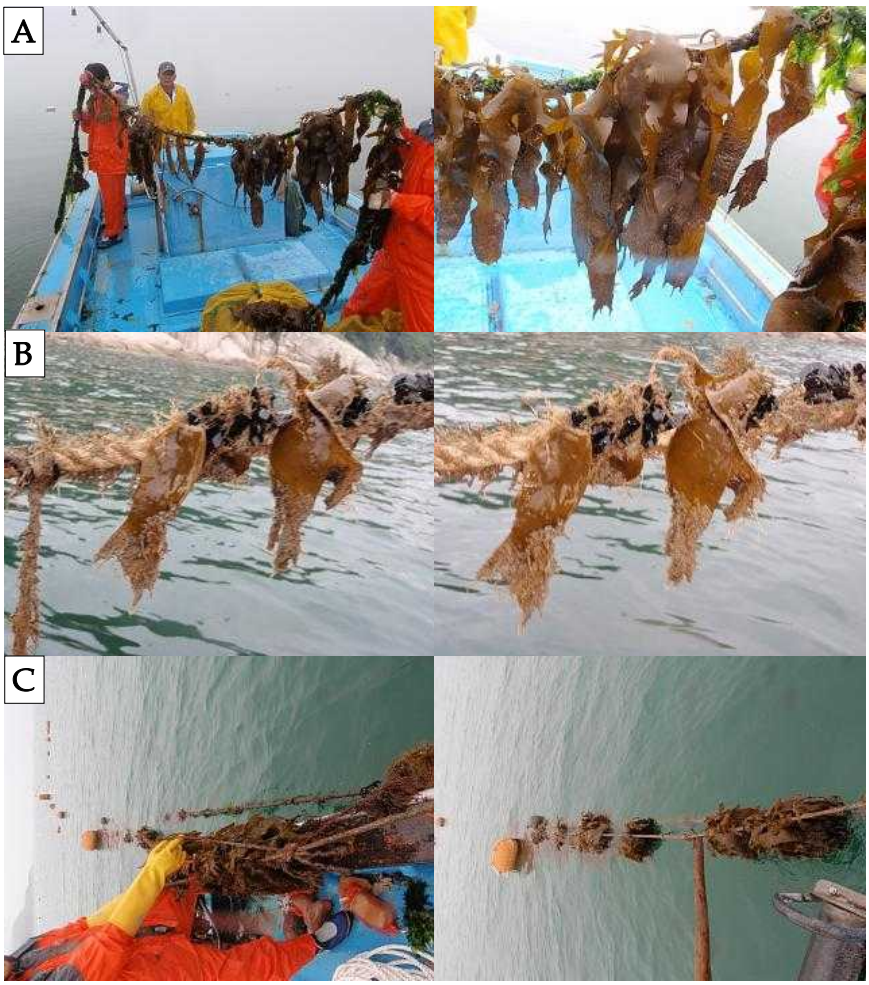
대량생산 적지로서 기장과 완도를 비교하였을 때, 완도해역은 다시마의 질이 좋고 끝녹음도 기장해역에 비해 늦게 시작되어 고수온기에 이르러서도 해적생물이나 착생생물이 적어 전처리과정에서도 유리한 반면, 기장해역에서는 6월부터 끝녹음이 급격히 진행되고 태형동물인 톱니막이끼벌레(*Membranipora serrilamella*)와 테히드라(*Sertularella levigata*)류가 엽체의 전 표면을 피복할 정도로 밀생하여 식용으로는 불가능한 상태로 되는 것은 물론, 시료의 전처리과정에서 이들 해적생물이나 착생생물을 제거해 주지 않으면 분석 데이터에 오류를 가져올 수 있는 문제점이 나타났다. 따라서 다시마 양식만을 놓고 보더라도 기장 측이 제품의 질 측면에서 불리한 환경에 놓였다고 볼 수 있다. 그러나 기장의 경우 다시마가 최대 생장기에 달한6월초순 이후 수온이 급격히 상승하기 시작하여 끝녹음이 시작되고, 해적생물의 유생이 출현하여 엽면에 착생하기 때문에 다사마가 최대 생장기에 이른 6월 초순경에집중적으로 수확을 한다면 이러한 문제는 해결할 수 있

을 것으로 판단된다.

라. 감태의 월하시험

모두에서 밝혔듯이 감태는 조건에 따라 4-6년 동안 생장이 가능한 다년생 대형 갈조류로 다시마에 비해 해조류 바이오매스 생산성은 떨어지나 다시마에는 존재하지 않는 다양한 기능성 물질을 함유하고 있는 것으로 알려져 있기 때문에 감태의 월하(여름나기)를 통한 다년양식의 성공은 감태를 새로운 유용 해조자원으로 활용할 수 있는 기반을 구측할 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 8월 20일 현재까지 부산 기장, 경남 비진도 및 전남 완도의 시험어장 및 교습어장에서 양성 시험 중인 감태의 월하시험에 대한 어장별 특이사항을 그림 [그림 3-1-19]에 나타내었다.

기장의 경우 성장도는 빠르게 나타나나 양식장의 연승에 진주담치가 대량착생하면서 부이의 부력이 낮아져 연승의 침하현상이 나타나 부이를 보충해야 하는 문제가 나타났고, 엽면에는 끝녹음이 지속되면서 대벌레와 히드라가 대량으로 착생하는 문제가 나타나고 있다[그림 3-1-19의 A]. 비진도의 경우 기장과 완도에 비해 성장도가 떨어지며 연승에는 진주담치와 기타 이끼동물과 같은 부착성 동물이 많이 착생하며 이들은 엽면에 히드라 및 대벌레와 함께 엽면에 착생하여 엽체의 생장을 저해하고 잇는 것으로 나타났다[그림 3-1-19의 B]. 완도의 경우 태풍 무이파의 영향으로 대부분의 어장이 유실되거나 양식장의 연승과 부자가 엉키면서 어장의 기능을 상실한 상태에 있어 어장을 철거하는 상황에 있으나 다행히 시험 양성중인 내만의 감태어장은 유실되거나 크게 손상되지 않았으며 잔존해 있는 감태의 생육상황도 순조로운 것으로 나타났다. 그러나 여름철 해양조건의 특성상 완도산 엽체에도 기장이나 비진도산 엽체와 같이 엽면의 상단부에 히드라, 태형동물, 대벌레 등이 대량으로 착생하여 성장에 영향을 미치고 있으며, 계절성이 있는 엽체 상단부의 끝녹음 현상도 전반적으로 나타난고 있다. 그러나 기장과 비진도에 비해 성장이 빠르고 부착기의 발달이 좋은 것으로 나타나 일부에서 우려하고 있는 파동에 의한 부착기의 탈락으로 감태 양성이 어려울 것이라는 예상을 뛰어 넘는 수준으로 발육상황이 좋은 것으로 나타났다. 그러나 현재까지의 결과만으로 다년생 감태 양식에 성공했다는 표현을 쓰기에는 무리가 있으므로 이러한 현상은 앞으로 다양하게 영향을 미칠 수 있는 태풍이나 폭풍의 영향 등 해양기상 조건을 모니터링 하면서 다년생 감태 양식의 성공여부를 최종 판단해야 할 것으로 생각된다. 세곳의 시험해역에서 나타나고 있는 감태 엽면의 끝녹음 현상과 해적 및 착생생물들에 의한 영향은 계절적인 것으로 수온 하강기에 접어들면 완화될 것으로 예상되지만 이러한 현상과 양식 감태의 성장과의 관계에 대한 생태학적 분석은 지속적인 모니터링이 이루어진다면 가능할 것으로 판단된다.



[그림 3-1-19] 부산 기장(A), 경남 통영 비진도(B), 전남 완도(C)의 시험 및 교습어장에서 양성중인 감태의 생육상태(2011. 8월 중순 현재)

4. 요약 및 제언

이제까지의 연구결과를 요약하면 완도산 다시마가 기장산에 비해 성장이 다소 빠르게 나타났는데 이러한 이유는 기장산의 경우 25cm 간격으로 연승에 종묘를 삽입하여 양식하는데 비해 완도산은 그 배인 50cm 간격으로 양성하고 있는 차이에서 비롯된 것으로 보인다.

단위 연승당 총 생체량은 기장산이 많은데 이는 종사를 연승에 끼워서 양식하는 간격의 차이에서 비롯되는 것으로 보인다. 양식 다시마에 대한 제품의 질을 배제한다면 현행 어업인들이 상업적으로 양식하고 있는 종묘삽식 방법과 솎아주는 방법(80-90%솎음)

은 양식다시마의 질을 높일 수는 있으나 원료의 대량으로 확보하는 데에는 부정적 요소로 작용하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서 얻어진 결과를 적용할 경우 현행 어업인들의 양식방법보다 최대 2-2.5배까지 생산량을 늘릴 수 있다. 그러나 어장관리비 증가의 문제와 어장 시설의 유실 및 파손 등의 문제점이 나타날 수 있다. 해적생물이나 착생생물의 부착밀도, 시료의 전처리 문제 등을 고려할 때 대량생산 적지는 기장에 비해 완도가 유리한 것으로 나타났으나, 기장의 경우 고수온기에 들어서 끝녹음이 시작되거나 해적생물이 착생하기 이전에 수확을 함으로써 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

이 연구와 관련한 제언을 한다면 이형세대 교번을 하는 다시마목 해조류를 제외한 해조류의 경우 그 생리, 생태적 특성상 번식적기를 놓치면 모조의 확보가 어려워 종묘생산에 어려움을 겪을 수 있다. 따라서 연구가 제때에 이루어질 수 있도록 뒷받침 해주어야 할 필요가 있다. 해조류의 경우 어패류와 달리, 연구비 지급이 안되는 줄 알고 손을 놓고 있다가 양질의 종묘를 확보할 수 있는 적기를 놓치게 되면 종묘확보가 어려워 연구에 어려움을 겪게 되는 것이 해조류 연구의 특성이라는 점을 이해해 주길 바라는 것이다. 앞으로 지속적인 연구비 지원이 이루어진다면 연구교습어장을 활용한 다양한 연구가 가능할 것으로 기대된다.

5. 향후계획

이제까지 완도와 기장의 양식장을 임차하여 연구를 수행해 왔으나 남은 기간 연구, 교습면허 어장을 활용한 다양한 시험연구가 가능할 것으로 생각된다. 그간 연구, 교습어장을 확보하기 위해 관련기관, 특히 인근 어촌계 어민과의 협의 및 해상국립공원 관리공단과의 협의 등 연구, 교습어장 확보에 다소 어려움이 있었으나 지금은 완도와 통영 두 곳 모두 양식면허를 취득하였기에 앞으로 시간적 여유를 가지고 연구를 수행해 나갈 계획이다. 다년생 해조류인 감태에 대한 월하 양식의 가능성과 해양환경과 양식생물 상호 간에 나타나는 다양한 생태학적 현상은 세 곳의 해역에서 시험양식을 지속적으로 수행하면서 장기적이고 정기적인 모니터링을 통해 구명할 수 있을 것으로 판단된다.

제 2 절 외해 대량양식시설 설계 및 제어기술

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

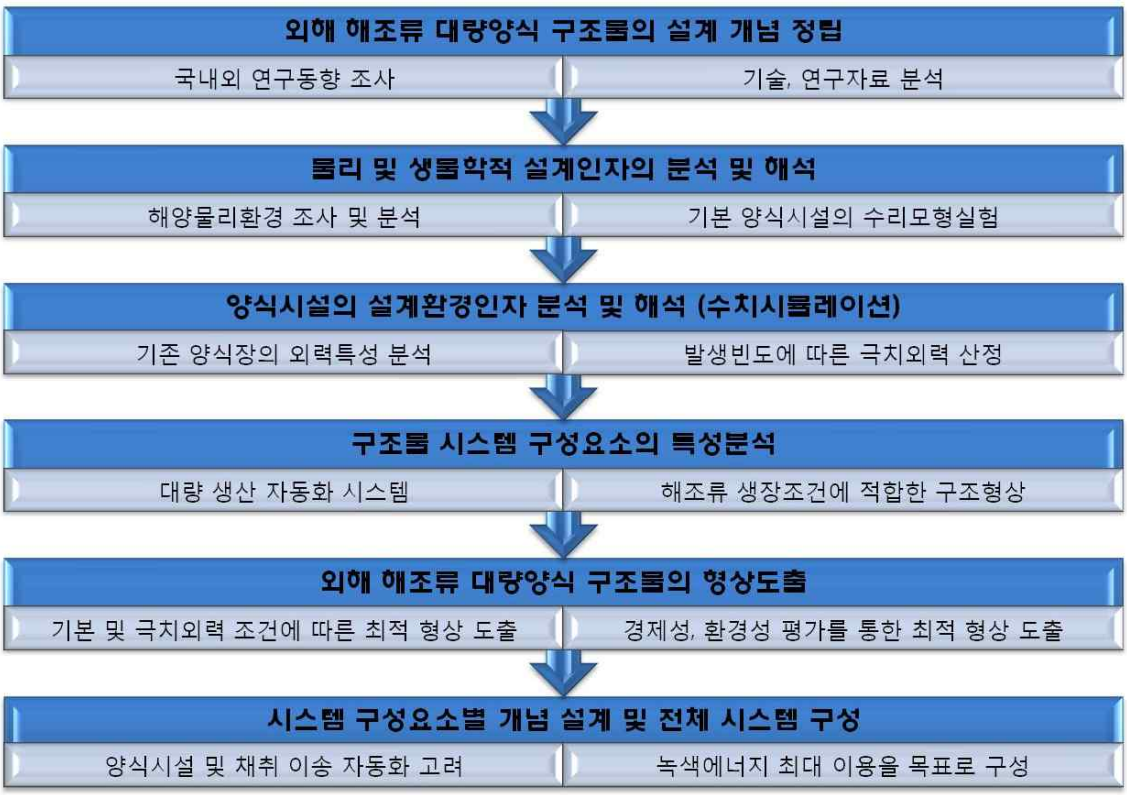
전 세계적으로 화석연료 사용에 따른 지구 온난화로 인해 각 대륙별로 홍수, 가뭄 및 태풍 등의 기후변화로 인해 막대한 인명 및 재산 피해를 입고 있다. 이러한 피해를 방지하기 위한 화석연료 대체에너지 개발이 시급하고, 세계 경제에서도 교토의정서를 시작으로 탄소배출권을 이용한 온실가스 감축노력을 지속적으로 펼치고 있다. 그러므로 우리나라의 지리적 특성을 감안하여 환경친화적이고 지속적으로 이용이 가능한 해조류 바이오매스 개발이 필요하다.

그러나 식용작물의 바이오연료화는 식량가격 상승의 원인이 되고 있어 식량자원과 경합하지 않는 해조류가 바이오연료화에 보다 적합하다. 특히 우리나라는 3면의 연안과 배타적 경제수역을 보유하고 있고 연간 90만톤의 해조류 생산력을 가지고 있으며 해양개발 기술력이 세계수준에 있다. 그럼에도 불구하고 기존의 양식 시스템으로는 바이오에너지 생산용 바이오매스를 충당하기에는 양식장 면적이 절대적으로 부족하고 새로운 양식적지를 개발하여야 하며, 보다 과학적인 적지선정이 이루어져야 한다.

따라서 연안 해역의 소규모 식용 해조류 양식으로 인한 공간부족을 외해 넓은 공간으로 확대하여 대량생산을 가능하도록 함과 동시에 경험적 양식시설 기술에서 탈피하여 공학적으로 타당하고 경제적인 대량 양식시설 설치기술 개발이 시급하다. 이에 본 연구의 목적은 저탄소 녹생성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위한 해조류의 대량생산을 최종 목표로 한다. 이를 위하여 전통적인 연안 해조류 양식에 첨단융합기술을 적용하여 경제성이 확보된 세계 최초의 친환경 대규모 외해 양식시스템을 개발하고자 한다.

나. 연구 내용

해조류 대량양식 시설의 개념설계를 위하여 국내·외 연구 및 기술자료 수집 및 분석, 대량양식구조물 설계인자 분석 및 해석, 최적의 시스템 구성을 위한 구성요소 분석, 각 시스템 구성요소를 포함하는 구조물 형상 도출 및 전체 시스템에 대한 개념설계로 연구를 수행하였다([그림 3-2-1]).



[그림 3-2-1] 본 연구의 연구 흐름도 및 연구내용.

2. 연구 방법

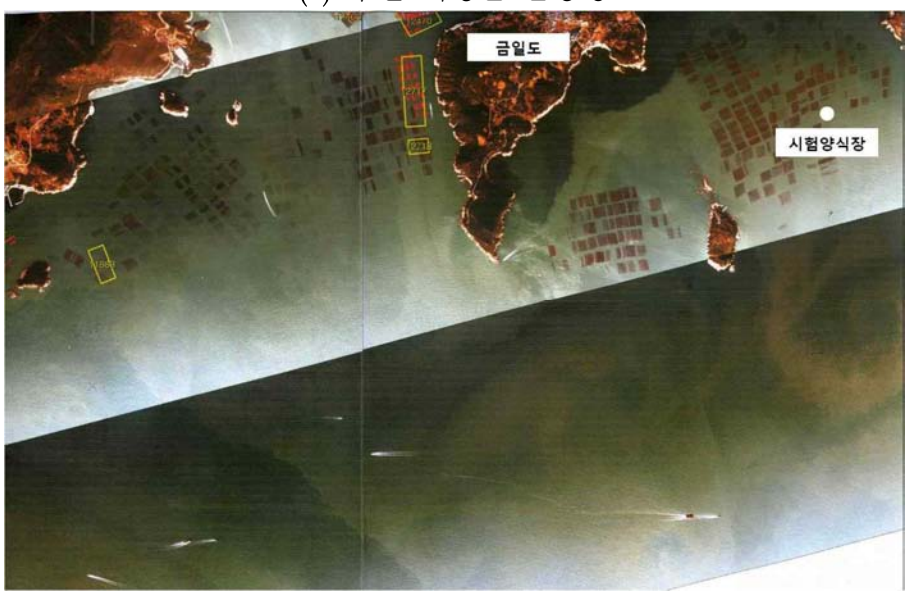
외해 해조류 대량양식에 대한 개념설계를 위해서 상술한 바와 같이 총 6단계의 연구과정을 설정하였으며, 그 중 외해 해조류 대량양식 구조물의 설계 개념 정립에 필요한 자료 수집 및 분석은 제 2 장 제 3 절 의 국내외 기술개발 현황에 수록되어 있으며, 나머지 연구단계별 연구 방법은 본 장에서 서술하였다. 특히, 해외 개발사례 중 국내 여건과 유사한 경우에 대하여 비교 분석하였으며 현재 해조류 양식이 활발히 이루어지고 있는 임의 두 해역(완도 및 기장 해역)을 대상으로 해양물리·환경 조사와 파랑 및 해수유동 수치시뮬레이션을 이용하여 기존 획득된 연구자료들과 비교 및 분석함과 아울러 외해 해조류 대량양식 개념설계를 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다.

가. 해조류 시험양식장의 해양환경 설계인자의 조사· 분석

양식시설물을 포함하는 해양구조물을 설계 및 시공하기 위해서는 기본적으로 [5]에 의거 해양외력들 중에 대상해역에 대한 파랑, 흐름에 대한 분석이 이루어져야 한다. 따라서 본 과업에서도 기장군과 완도군의 1차 시험양식장에 대한 파랑 및 흐름에 대한 조사를 실시하였다. 이러한 현장관측 자료는 해역의 고유한 해양물리특성을 규명할 때 검

증 및 분석 자료로서 반드시 필요하다.

(a) 부산 기장군 문동항



(b) 전라난도 완도군 금일도

[그림 3-2-2] 기장 및 완도 1차 시험양식장 위성사진.

현재 연안에서 이루어지는 해조류 양식장 주변의 해양물리 특성을 조사하기 위하여 기장과 완도의 1차 시험양식장에 대한 파랑관측을 실시하였다. 조사정점은 [그림 3-2-2]와 같이 도시하였으며, 기장 시험양식장의 위치는 Google earth 프로그램 상에서 나타내었고, 완도 시험양식장은 완도군청에서 제공한 최근의 어장도에 표시하였다. 각각의 시험양식장의 위·경도 좌표는 [표 3-2-1]에 나타내었다. 조사기간은 기장의 경우 2011년 2월 18일 14:00부터 2월 21일 15:00까지이며, 완도의 경우 2011년 3월 13일부터 3월 31일까

지이다. 두 지점 모두 압력식 파고계(Compact-WH)를 해저에 착저시키고 파랑자료를 획득하였다. [그림 3-2-3]은 기장 시험양식장에서 파고계와 유속계를 설치하는 사진이며 완도 시험양식장에서도 동일한 방법으로 설치하였다.

(a) 계측기 설치 준비

(b) 파고계 해저에 착저

(c) 유속계 설치

(d) 부이표식

[그림 3-2-3] 기장 시험양식장에서 파고·유속계 설치 순서.

[표 3-2-1] 1차 시험양식장 위·경도 좌표 및 수심

	위도	경도	수심 (m)
기장	35° 18′ 09.77″ N	129° 17′ 10.92″ E	20
완도	34° 18′ 50.77″ N	127° 04′ 25.95″ E	16

국토해양부에서는 파랑관측 자료를 해석하기 위해서 1회의 기록시간을 2시간마다 20분씩 하는 것이 표준이라고 밝히고 있으나, 본 과업에서는 보다 정밀한 자료 획득을 위하여 기장의 경우 연속관측, 완도의 경우 1시간마다 10분씩 자료를 획득하도록 설정하였다. 연속관측과 burst mode 관측에서 sampling rate는 4Hz로 하여 burst mode 관측시 1시간마다 총 2,400개의 수심자료를 획득하였다. 획득된 파랑자료는 FFT해석을 통하여 대표파법과 스펙트럼법으로 계산하여 1시간 단위로 유의파고($H_{1/3}$, H_s)와 최대파고($H_{\max}$) 그리고 유의주기($T_{1/3}$)를 계산하였다. 또한, [4]에서 수행된 2007년 11월부터 2008년 3월 29일까지의 기장 동암항 연속 파랑관측자료를 본 과업에서 수행한 기장 문동항 연속 파

랑관측 결과와 비교·검토하였다.

나. 양식시설의 설계환경인자 분석 및 해석(수치시뮬레이션)

현재 해조류 양식이 활발히 이루어지고 있는 임의 두 시험양식장(완도 및 기장 해역)을 대상으로 해양파랑 및 해수유동 수치시뮬레이션을 이용하여 두 시험양식장의 해양외력환경을 평가하고자 하였다. 이를 통해 획득되어진 자료는 외해 해조류 대량양식 개념설계를 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다.

(1) 파랑변형 수치모의

(가) 실험장치 및 재료

SWAN 파랑시뮬레이션 프로그램을 이용하여 기장 및 완도해역의 설계파 산정하고자 하였다. 파랑변형 수치실험은 Delf Hydraulic에서 개발한 제 3세대 파랑모형인 SWAN version 40.72를 사용하였다. 본 모형은 풍파 발생 및 발달(Wind generation), 흐름과 수심에 의한 굴절(Refraction), 구조물에 의한 회절(Diffraction), 수심에 의한 쇄파(Wave breaking), 저면 마찰(Bottom friction)에 의한 에너지 감쇄, 천수변형(Shoaling), 및 파랑의 비선형 상호작용(Quadruplet, Triad wave and wave interaction)에 대한 적용이 가능하다. SWAN 모델은 spectral actional balance 방정식을 기본으로 하며 다음과 같다.

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial c_x N}{\partial x}+\frac{\partial c_y N}{\partial y}+\frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma}+\frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta}=\frac{S_{tot}}{\sigma}$$

여기서 N은 파랑작용밀도(Action density)라고 하며, 에너지밀도를 각주파수로 나눈 E/σ과 같다. 기본 방정식에서 첫 번째 항은 시간에 따른 에너지의 변화를 나타내며 정상모드를 사용한 본 실험에서는 생략된다. 그리고 두 번째와 세 번째 항은 2차원 공간상에서의 파랑에너지의 전파를 의미하며, 네 번째는 수심 및 흐름의 변화에 따른 각주파수의 이동(Shifting)효과를 나타내고 있으며, 다섯 번째는 수심 및 흐름에 의한 굴절을 의미한다. 우측항의 S_{tot}는 파랑에너지의 발생(Generation) 및 감쇄(Dissipation), 그리고 재분배(Redistribution)에 관련된 모든 물리적 과정들을 포함한 원천항(Source/sink terms)을 의미하며, 아래의 식으로 표현이 된다.

$$S_{tot}=S_{in}+S_{nl3}+S_{nl4}+S_{ds.w}+S_{ds.b}+S_{ds.br}$$

원천항 S_{tot}는 풍파발생($S_{\in}$), 파랑에너지의 비선형이동(S_{nl3}, S_{nl4}), 백파(White-capping), 해저면 마찰 및 쇄파로 인한 에너지 감쇄($S_{ds.w}$, $S_{ds.b}$, $S_{ds.br}$)으로 구성되어 있으며, SWAN 모형에서는 각 항에 대한 다양한 경험식 및 옵션들을 소개하고 있다. 최신버전의 SWAN 모형은 위상분리 접근법 (Phase-decoupled approach)을 바탕으로 파향에 따라 파랑에너지의 공간적인 재분배함으로써 파랑의 회절효과을 고려하고 있다.

본 모형으로부터 유의파고 H_s과 평균주기 T_m는 다음과 같이 스펙트럼 모멘트에 의해 산정하였다.

$$H_s = 4\sqrt{m_{0,}} \qquad T_m = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}, \qquad \text{where } m_n = \int_0^\infty f^n E(f) df$$

수치모형영역에 입사파랑경계와 방사경계조건(Radiation boundary condition)을 적용하였다. 입사파랑경계는 유의파고와 첨두주기에 의한 JONSWAP 주파수 스펙트럼 [1]과 미쯔야수의 방향분산도인$\cos^m\theta$을 사용하여 개경계조건을 정의하였으며, 해안선을 포함한 그 외의 모든 경계에서는 파랑에너지를 흡수하거나 경계로 통과시켜 파랑이 계산영역으로 다시 입사하지 않는 방사경계조건(Radiation boundary condition)을 지정하였다. 수치계산시 주파수 0.04 Hz～1.0 Hz에서 34개, 방향은 36개로 분할하여 총 1224개 성분파로 구성된 스펙트럼을 고려하였다.

수치모형실험에서는 굴절, 회절, 천수와 더불어 천해역에서 발생하는 비선형 파랑상호작용인 Triads, 그리고 파형경사에 의해 발생하는 백파(Whitecapping)로 인한 파랑에너지 감쇠를 계산에 고려하였다. 또한, 수심에 따른 쇄파현상은 쇄파지수 H/h가 0.6인 조건을 사용하였으며, 저면마찰에 따른 에너지 감쇠는 JONSWAP의 상수인 $0.038 m^2/s^3$ [1]을 사용하였다. 모든 계산은 정상모드(Stationary mode)로 실시하였다.

(나) 실험조건

기장 및 완도 해역은 외해로부터 입사해오는 파랑의 영향을 직접적으로 받으며, 특히 하절기의 열대성 저기압에 의한 태풍의 영향권으로 폭풍해일의 영향으로 인한 피해가 큰 해역이다. 대상해역 주변과 바다목장의 조성어장별 해양파랑 특성을 파악하고, 조성지 외력환경 타당성 평가하는 것을 목적으로 심해설계파 및 평상파 조건에 대해 파랑변형 수치모의 실험을 수행하였다.

수치계산은 구조물 설치시 필요한 50년 재현빈도의 심해설계파 조건을 대상으로 하였으며, 그 제원은 2005년 12월 한국해양연구원의 ‘전해역 심해설계파 추정보고서 Ⅱ’

의 격자점들의 값을 사용하였다. 또한 평상파 조건은 거문도 및 거제도 해양관측부이에서 관측된 최근 10년(2001년 1월 ~ 2010년 12월)의 자료 분석하였다. 동계 및 하계에 대하여 수치실험을 실시하였으며, 유의파 및 바람자료를 고려하였다([표 3-2-2]).

[표 3-2-2] 설계파 및 평상파 파랑수치실험 개요

항 목		기장해역	완도해역
사 용 모 델		SWAN Version 40.72 (Delft University of Technology)	
격 자 구 성	제 원	50년 빈도 심해설계파 (해양연구원, 2005.12)	50년 빈도 심해설계파 (해양연구원, 2005.12)
	영 역	43.7 km × 37.5 km	83 km × 72.2 km
	격자간격	100 m 등방격자	200 m 등방격자
	격 자 수	163,875개 (437×375)	149,815개 (491×418)
기준 해수면 (여수 기준검조소)		약최고고조위: 0.83 m 평균해면: 0.41 m	약최고고조위: 3.84 m 평균해면: 1.92 m

3. 연구수행 결과

가. 해조류 시험양식장의 해양환경 설계인자의 조사· 분석

① 기장 시험양식장

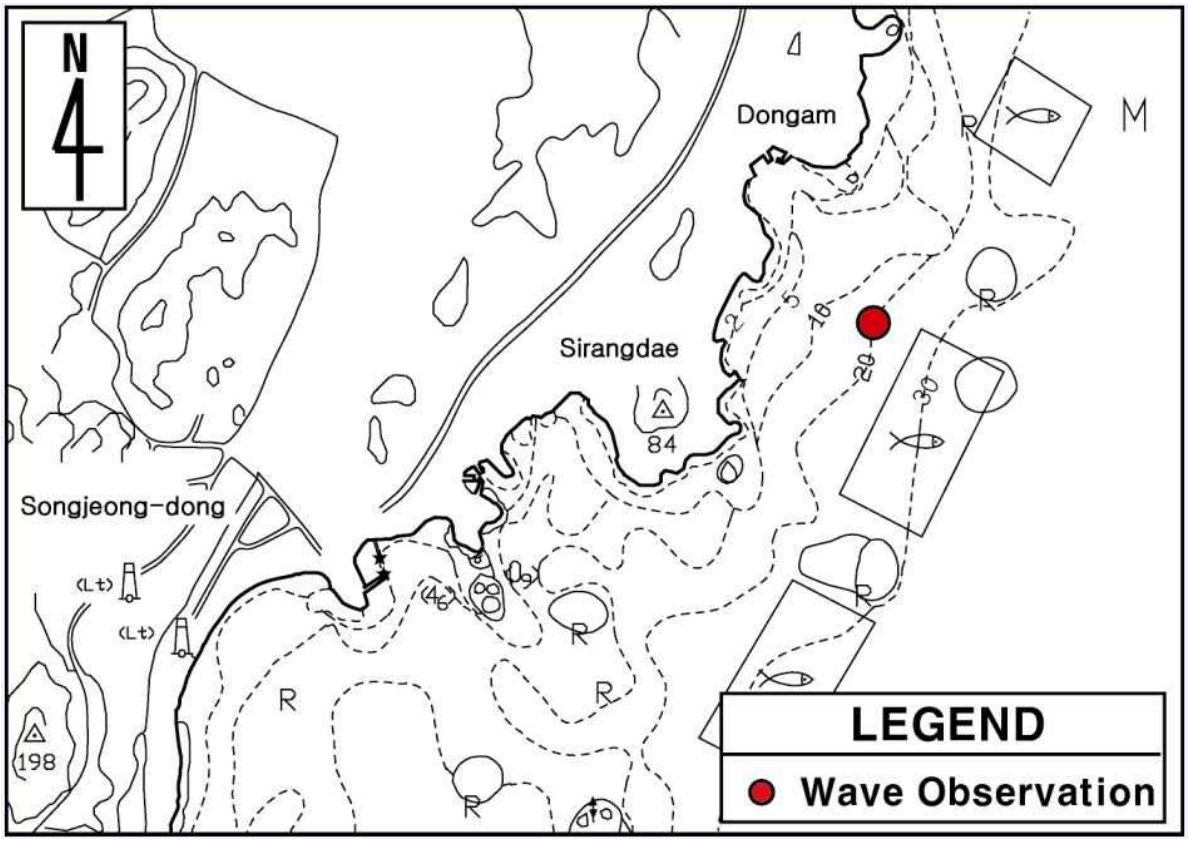
본 과업의 파랑관측 이전에 기장 동암항에서 수행된 [4]의 파랑관측 자료를 바탕으로 문동항의 1차 시험 양식장 내의 연속적인 파랑관측 자료가 필요하여 현장조사를 실시하였다. 먼저 기장 동암항의 파랑관측은 [표 3-2-3]과 같이 2007년 11월 12일부터 2008년 3월 29일까지 총 132일 동안 추계부터 동계, 춘계까지 관측을 실시하였으며, 방향성 파고계(MIDAS-DWR) 1대와 압력식 파고계 2대(AWH-16M, CMPACT-WH)를 이용하여 기장 연안 수심 25.5 m에서의 파랑특성을 조사하였다. 방향식 파고계의 관측 결과는 입사하는 파랑의 파향까지 계측하여 연안으로 입사되는 파랑의 주입사방향을 확인할 수 있었으며, 대략 진북방향으로부터 90° 방향(동)에서 입사하는 것으로 나타났다.

[그림 3-2-4]는 기장 동암항 전면해역에 설치된 파고계의 위치와 수심을 나타낸 것이다. 관측시 setting은 MIDAS-DWR의 경우에 sampling rate를 2Hz로 하여 88분 동안 2048개의 data를 기록, 전체 기록시간은 17분 4초가 되도록 설정하였으며, 수압식 파고계의 경우 sampling rate를 4Hz로 하고 60분 동안 2400개의 data를 기록, 전체 기록시간이 10분이 되도록 설정하였다. 파랑분석은 기록된 raw data를 demean, detrend한 후 스펙트

럼 분석을 이용하여 압력 에너지 스펙트럼으로 변환하고 이를 다시 파랑 에너지 스펙트럼으로 계산하여 수위 값으로 산출하였으며, hamming window filter를 사용하여 data set을 만들고 이를 FFT를 사용하여 정규화된 스펙트럼으로 파랑특성을 산출하였다.

[표 3-2-3] 2007년 기장 동암항의 관측기간 및 투입장비

구분	관측 기간		관측일시	관측장비
	시점	종점		
1	2007년 11월 12일	2007년 12월 1일	20	MIDAS-DWR
2	2007년 12월 1일	2007년 12월 10일	10	AWH-16M
3	2007년 12월 17일	2008년 1월 29일	44	MIDAS-DWR
4	2008년 2월 2일	2008년 2월 16일	15	COMPACT-WH
5	2008년 2월 16일	2008년 3월 29일	43	MIDAS-DWR



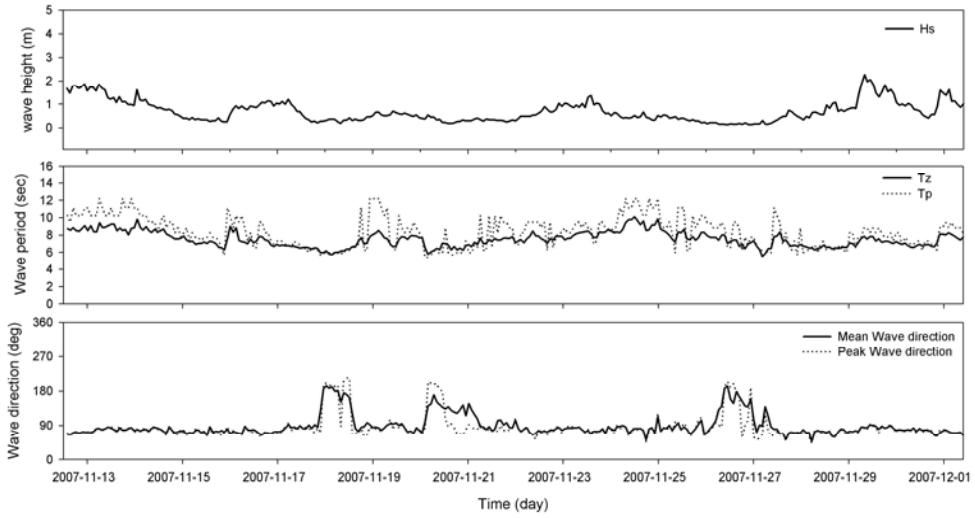
[그림 3-2-4] 기장 동암항 파랑관측 위치.

3대의 파고계 중 방향성 파고계(MIDAS-DWR)의 파고 관측 기록을 중심으로 기장

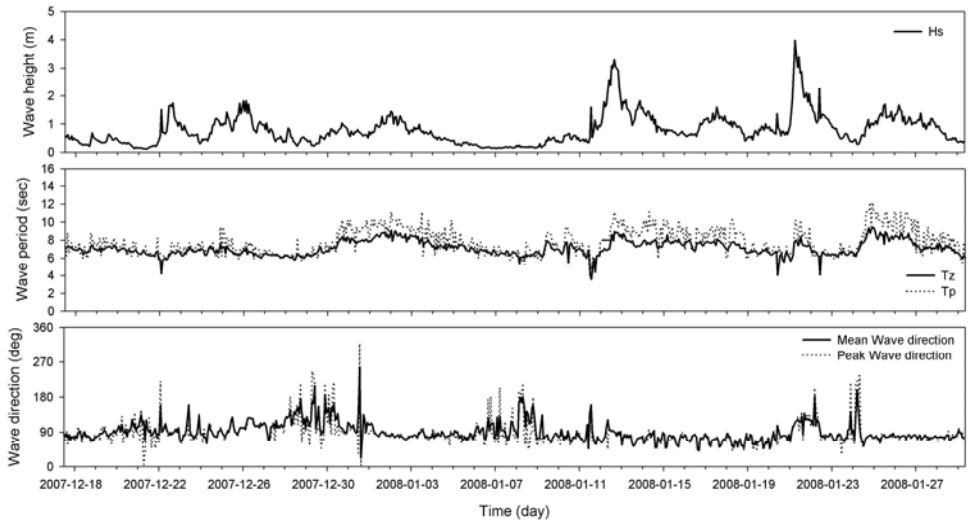
동암항의 파랑관측 결과를 관측기간별로 정리하면 [표 3-2-4]와 같고 유의파고(H_s), 주기(T), 파향(deg.) 등을 [그림 3-2-5]~[그림 3-2-7]에 나타내었다. 기장 동암항과 문동항 해조류 양식장의 수심이 대략 20~30 m이며, 기장 동암항의 파랑관측시 수심이 25.5 m임을 감안하면 기장 해안으로 입사하는 파랑이 [표 3-2-4]의 값에서 크게 벗어나지 않을 것으로 판단된다. 기장해역에 입사 가능한 최대파고는 8.19 m이며, 유의주기 중 가장 큰 주기는 15.81 sec이다. 이러한 값은 현재 시설된 해조류 양식장이 수심 30 m 이내에서는 구조적으로 안전하다는 반증이지만, 만약 시설물이 대형화될 경우 어떠한 결과를 보여줄 지는 예상할 수가 없다. 특히, 조류속과 해빈류, 해류등의 합력으로 발생되는 하중은 설계시 구조물 안전에 또 하나의 요소로 고려하여야 할 것이다.

[표 3-2-4] 기장 동암항 계측된 파랑자료 분석결과

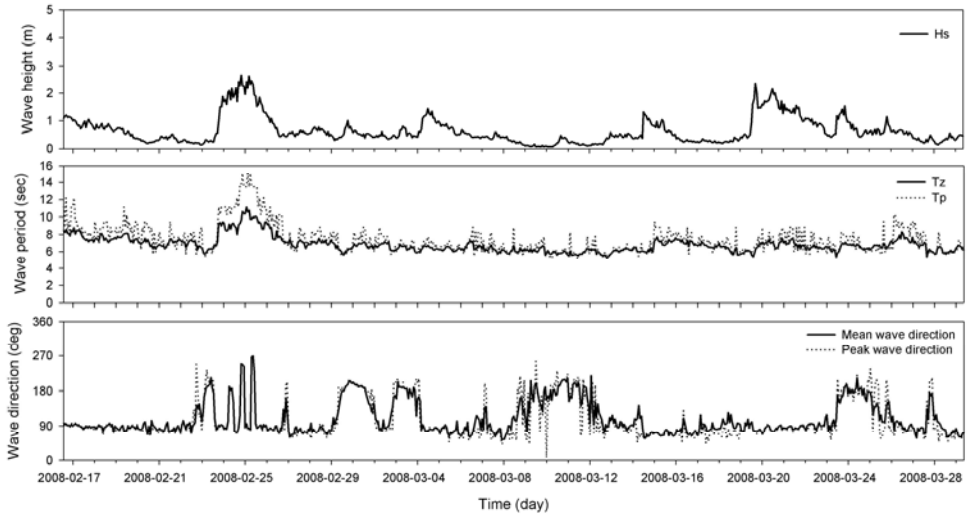
	2007년 11월 12일 ~12월 1일	2007년 12월 17일 ~2008년 1월 7일	2008년 2월 16일 ~3월 29일
H_s (m)	0.13 ~ 2.28	0.11 ~ 5.22	0.06 ~ 2.67
$H_{\max}$ (m)	0.21 ~ 3.57	0.17 ~ 8.19	0.10 ~ 4.20
T_s (sec)	5.72 ~ 12.80	4.89 ~ 12.80	5.49 ~ 15.81
Mean dir. (deg.)	47.7 ~ 194.2	22.5 ~ 256.0	54.4 ~ 269.3



[그림 3-2-5] MIDAS-DWR 파랑분석 결과(2007년 11월 12일~2007년 12월 1일).



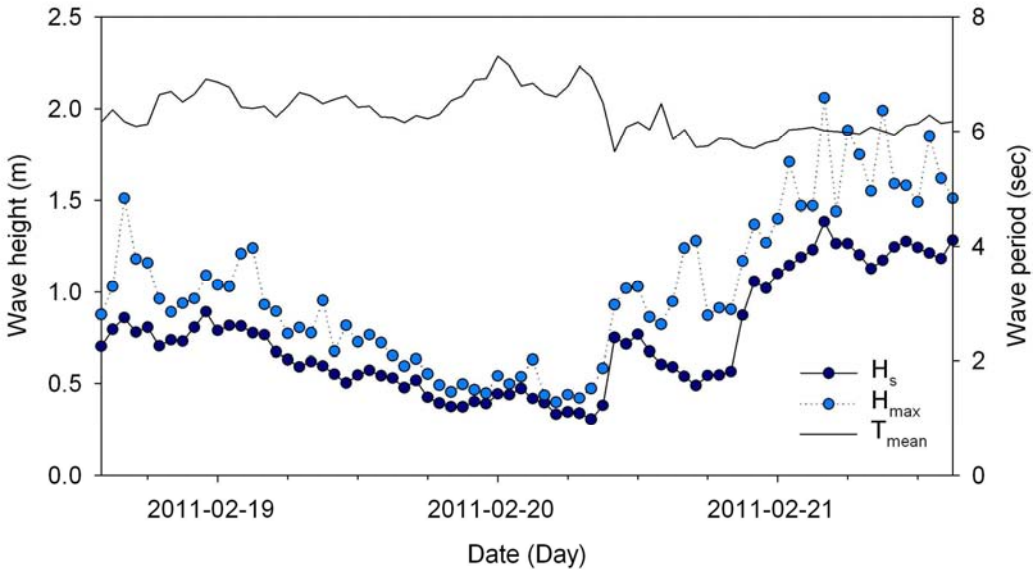
[그림 3-2-6] MIDAS-DWR 파랑분석 결과(2007년 12월 17일~2008년 1월 7일).



[그림 3-2-7] MIDAS-DWR 파랑분석 결과(2008년 2월 16일~2008년 3월 29일).

기존에 계측된 자료결과를 바탕으로 본 과업에서 수행한 문동항 전면해역 1차 시험양식장의 파랑 관측은 기존의 장기적인 파후자료 보다는 다시마 양식장 내부에서의 연속적인 수위변화를 계측하여 분석하였다. 또한 향후 수리실험에서의 파고변화와 비교·분석하기 위한 기초자료로서 활용하고자 하였다. 4일 연속 관측된 파랑data를 COMPACT-WH 프로그램에서 수압으로 계측된 자료를 수심자료로 변환하고 대표파법과 스펙트럼법으로 파고, 주기를 계산하였다. [그림 3-2-8]은 2011년 2월 18일 14:00부터 2월 21일 15:00까지의 기장 시험양식장에서의 유의파고(H_s), 최대파고($H_{\max}$), 평균주기(T_{mean})를 나타낸 것이다. 유의파고, 최대파고, 평균주기의 분포는 각각 0.30~1.39 m, 0.40~2.06

m, 5.65~7.31 sec로 나타났으며, 풍파의 주기가 6~8 sec의 범위를 가지는 것으로 감안하면, 시험양식장으로 입사하는 평상시 파랑은 풍파에 기인하는 것을 알 수 있었다.

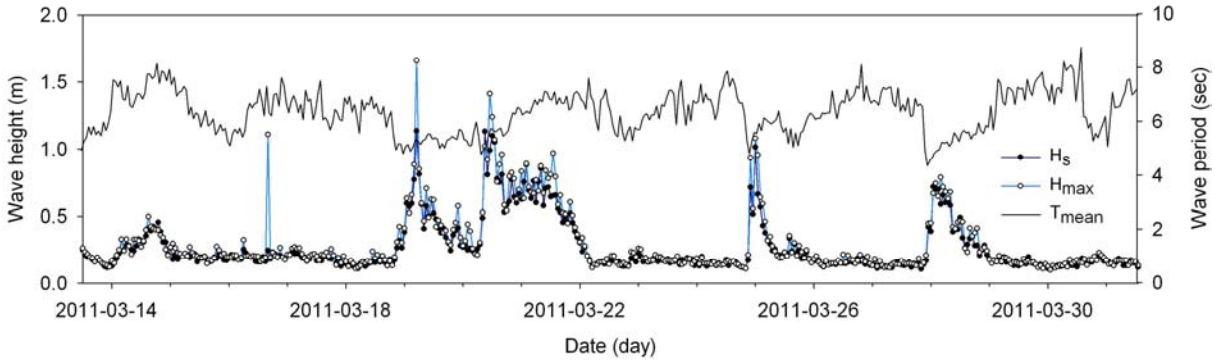


[그림 3-2-8] 기장 시험양식장에서 계측된 파고, 주기 분포.

② 완도 시험양식장

완도해역에서 직접 관측한 자료는 기장 해역과는 달리 찾지 못하였다. 따라서 우선 1차 시험양식장에 대한 파랑관측을 2011년 3월 13일 12:00부터 3월 31일 13:00까지 18일 동안 수행하였고, 계측된 파랑자료의 분석결과를 [그림 3-2-9]에 도시하였다. 유의파고, 최대파고, 평균주기의 범위는 각각 0.10~1.14 m, 0.15~1.66 m, 4.35~8.74 sec이다. 18일의 결과를 1년의 파랑특성과 비교할 수 없지만 관측기간내의 결과를 토대로 분석하면, 완도해역의 평균주기를 기장의 값과 비교하면 다소 범위는 넓지만 통상적인 풍파의 주기를 가짐을 알 수 있었다. 또한 관측 당시에는 '영등사리'가 드는 시기로서 너울성 파랑도 가끔식 내습하는 경우가 있으나 본 관측에서는 너울성 파랑은 내습하지 않은 것으로 확인되었다. 바람이 불지 않은 경우 기장과 달리 파고가 0.2 m 내외로 잔잔하여 안전하게 해조류 관리 및 채취, 운송이 가능할 것으로 보인다.

기장과 완도의 파랑관측 값은 평상시 해조류가 양성될 때 계측된 값이며, 대량양식 구조물의 경제적 설계와 안정성을 고려하기 위해서는 파랑변형 수치시뮬레이션에서 빈도별 설계파랑에 대한 대상해역 주변의 적지를 찾아야 할 것으로 판단된다. 또한 유력한 적지가 결정되며 보다 정밀한 해저지형 조사와 파랑관측으로 대상해역에 대한 검증이 수행되어야 할 것이다.



[그림 3-2-9] 기장 시험양식장에서 계측된 파고, 주기 분포

나. 양식시설의 설계환경인자 분석 및 해석(수치시뮬레이션)

(1) 파랑변형 수치모의

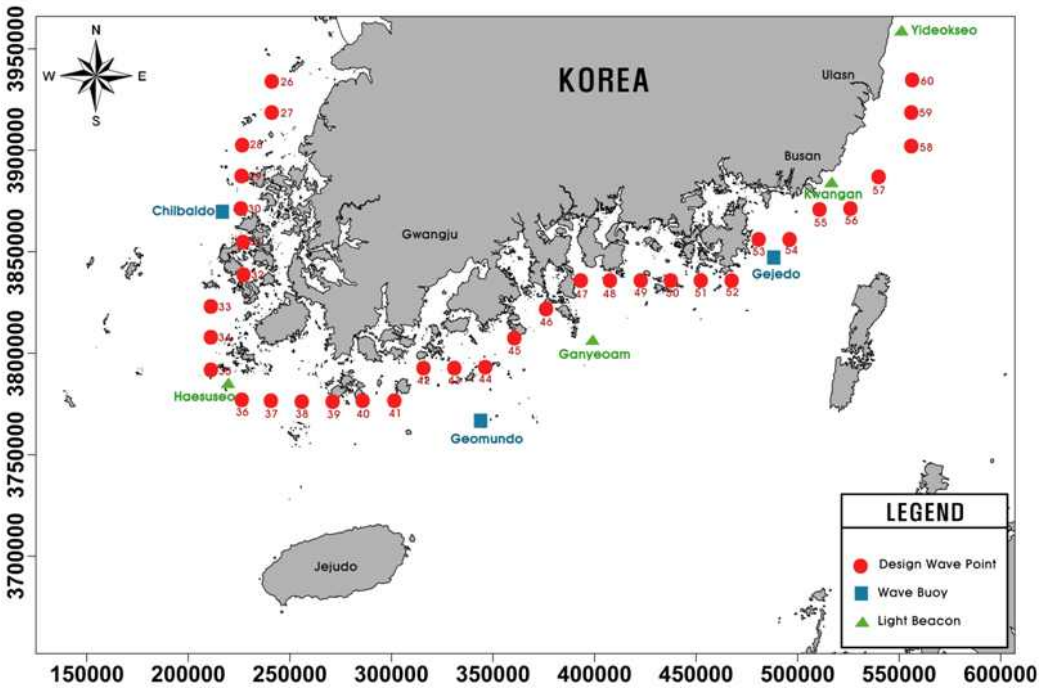
(가) 심해설계파

연구수행을 위하여 우리나라 연안에서 2005년 12월 한국해양연구원의 [2]'의 설계파 정점을 나타낸 것이 [그림 3-2-10]이다. 각 연안의 격자점 및 기상청에서 매 시간 조사하고 있는 파랑부이, 등표 정점을 같이 도시하였다. 대상으로 하는 기장 및 완도의 설계파 격자점을 나타낸 것이 [그림 3-2-11]이다. 기장의 경우 격자점 57, 58, 59의 값을 사용하였으며, 완도의 경우 39, 40, 41, 42, 43의 격자점을 이용하였다. 기장의 경우 설계파고가 5~12 m사이에 나타났으며, 완도 해역의 경우도 5~11 m사이에 나타났다. 특히 남, 남동, 남남동 등 남방향계열의 설계파고가 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이에 대한 상세한 값을 나타낸 것이 [표 3-2-5]와 [표 3-2-6]이다. 각 격자점에서 방향별로 큰 값을 적용심해 설계파고 산정하여 계산을 수행하였다.

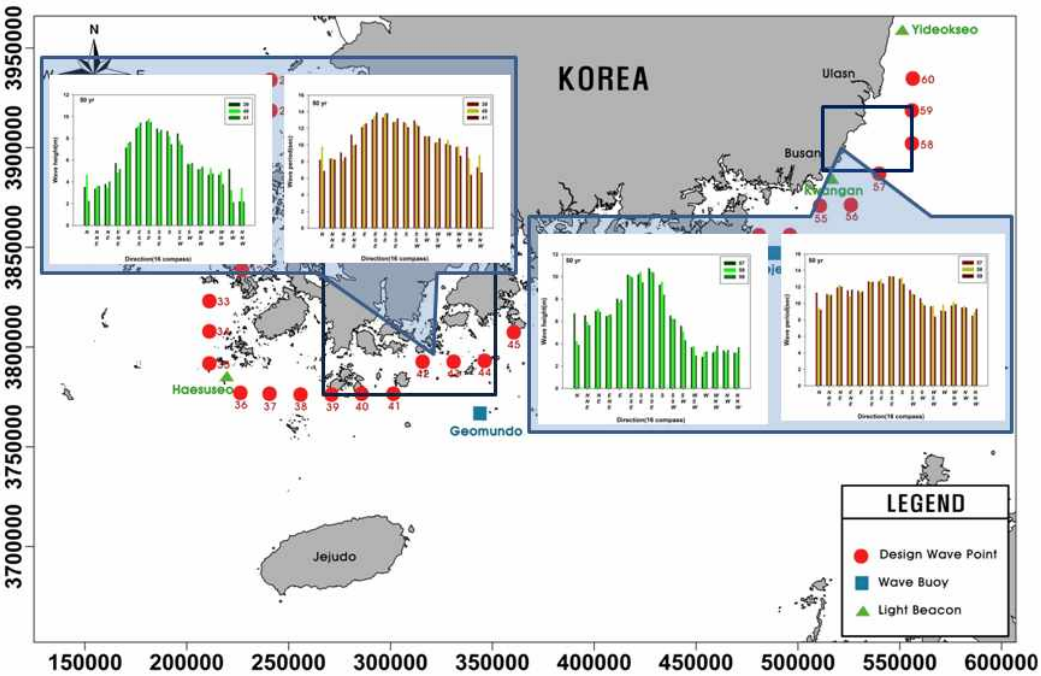
각 파랑수치실험 대상해역의 입사파랑경계의 입력값은 기장해역의 경우 연안격자점 57, 58, 59의 설계파 제원을 동남동, 동, 동남동, 남동, 남남동, 남, 남남서의 총 7개의 대표파향 심해파랑조건을 입력값으로 사용하였다. 완도해역이 경우 39, 40, 41, 42, 43의 설계파제원을 남동, 남남동, 남, 남남서, 남서총 5개 대표파향 심해파랑조건에 대해서 수치실험을 하였다.

각 실험조건에 대한 수위는 기장의 경우 고리의 약최고고저면(H.W.L)계측값인 0.83 m, 평균해면(M.S.L) 계측값인 0.41 m을 고려하였다. 또한 완도 해역의 경우 완도 및

초도에서 관측되어진 값을 사용하였는데, 약최고고저면(H.W.L)계측값인 3.84 m, 평균해면(M.S.L) 계측값은 1.92 m를 고려하였다([그림 3-2-12]~[그림 3-2-13]).



[그림 3-2-10] 심해설계파 산출 격자점, 부이 및 등표 관측점.



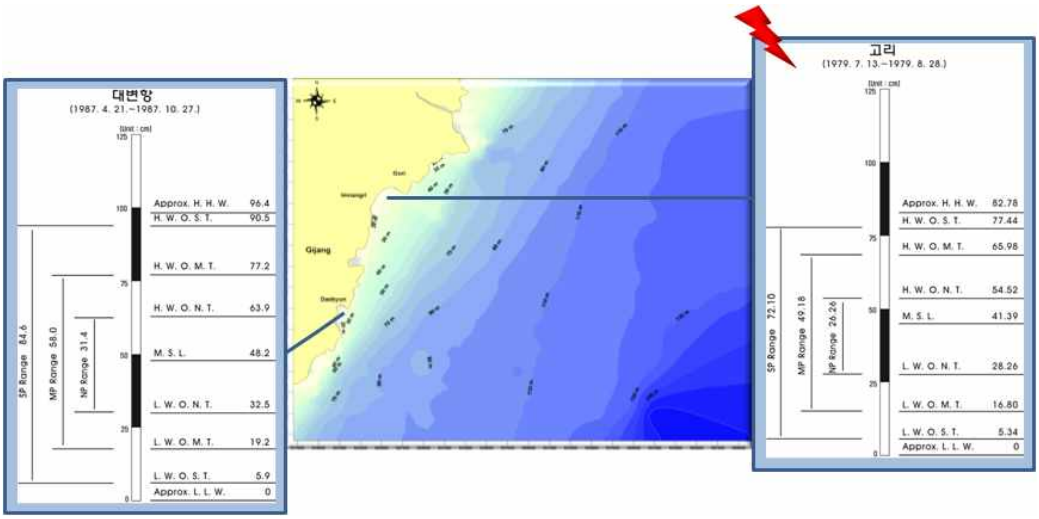
[그림 3-2-11] 대상해역의 심해설계파.

[표 3-2-5] 기장해역 적용심해설계파

구분	격자 / 파향	57		58		59		적용심해설계파	
		파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)
50년	ENE	6.48	11.59	6.60	10.83	6.61	11.67	6.61	11.67
	E	8.04	11.54	7.73	11.25	7.94	11.45	8.04	11.54
	ESE	10.18	12.67	10.10	12.63	9.96	12.62	10.18	12.67
	SE	10.21	12.68	10.44	12.91	9.50	12.43	10.44	12.91
	SSE	10.76	13.30	10.47	13.25	10.37	13.29	10.76	13.30
	S	9.28	12.99	9.54	13.16	8.39	12.36	9.54	13.16
	SSW	6.51	11.66	6.26	11.21	6.21	11.08	6.51	11.66

[표 3-2-6] 완도해역 적용심해설계파

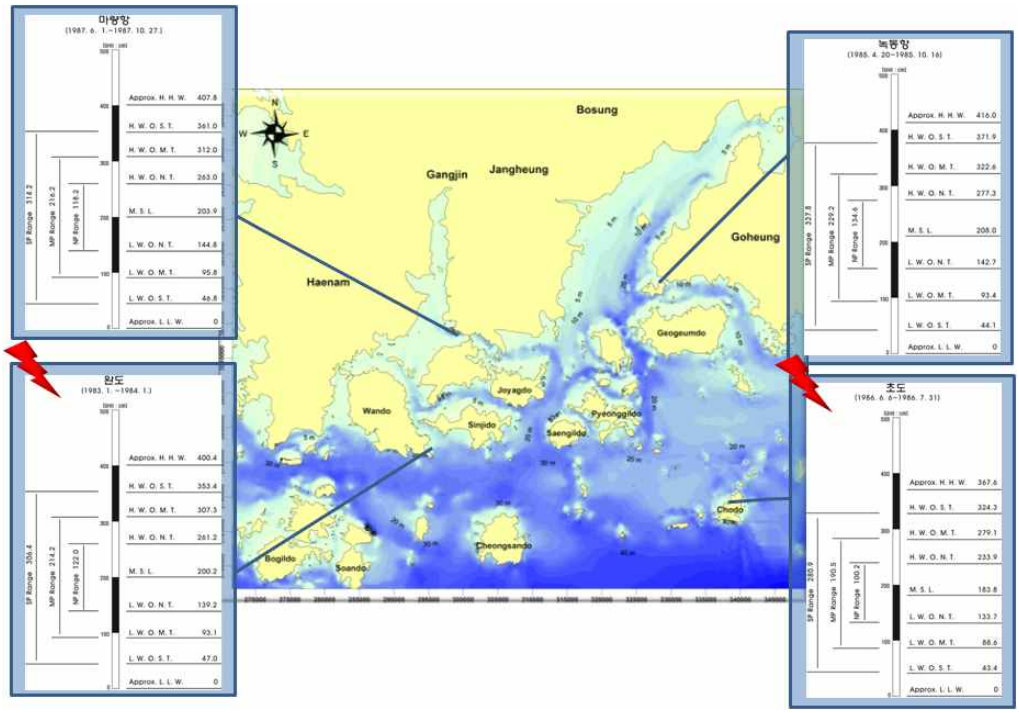
구분	격자 / 파향	39		40		41		42'		43'		44'		적용심해설계파	
		파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)	파고 (m)	주기 (sec)
50년	SE	9.57	13.32	9.82	13.81	9.51	13.82	10.36	14.74	10.63	14.99	11.03	15.30	11.03	15.30
	SSE	8.91	12.76	8.58	12.82	8.79	13.20	9.65	14.04	9.89	14.37	9.92	14.19	9.92	14.19
	S	8.67	12.74	8.20	12.62	7.45	12.15	8.59	13.12	8.17	13.02	8.18	13.14	8.67	12.74
	SSW	8.45	12.96	7.78	12.56	7.42	12.29	7.61	12.41	7.03	12.14	6.93	12.15	8.45	12.96
	SW	5.65	11.06	5.62	11.04	5.75	11.06	5.41	10.66	5.62	11.05	5.31	10.79	5.75	11.06



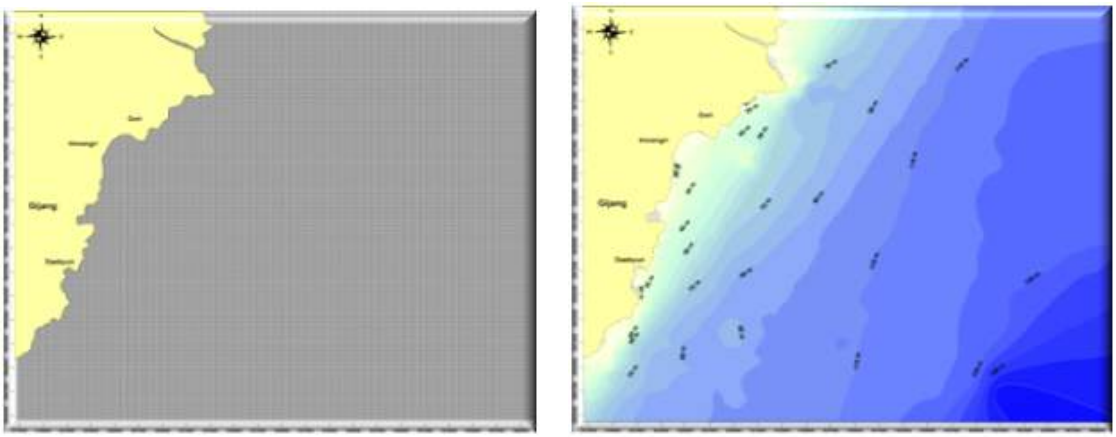
[그림 3-2-13] 기장해역 주변의 조위도.

기장 해역 및 완도 해역의 설계파 산출을 위하여 계산된 영역은 [그림 3-2-14]과 [그림 3-2-15]이다. 각 해역의 계산 격자 및 수심도를 나타내고 있다. 수심데이터는 최신 해도(No. 202, 221a, 232, 142)를 사용하였다. 기장의 경우 주변에 섬도 존재하지 않고 단

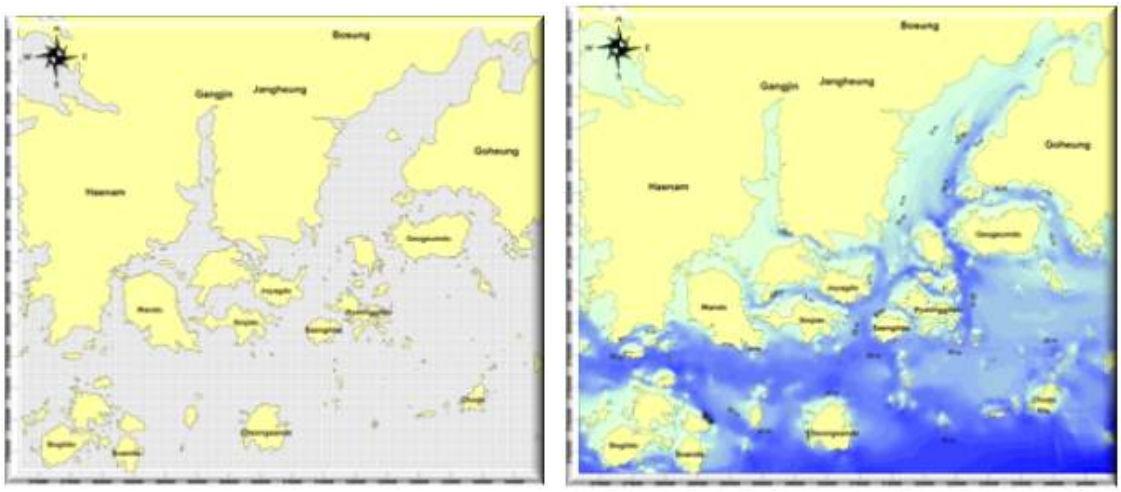
순한 해안선을 가지고 있으며, 해안선과 평행하게 수심이 발달하고 있다. 계산해역에서 수심이 가장 깊은 곳이 170 m로 나타났다. 완도해역의 경우는 복잡한 해안선을 가지고 있으며, 특히 많은 섬들이 차폐영역을 형성하고 있다. 또한 수심도 최대 50m 정도로 나타나고 있다.



[그림 3-2-12] 완도해역 주변의 조위도.



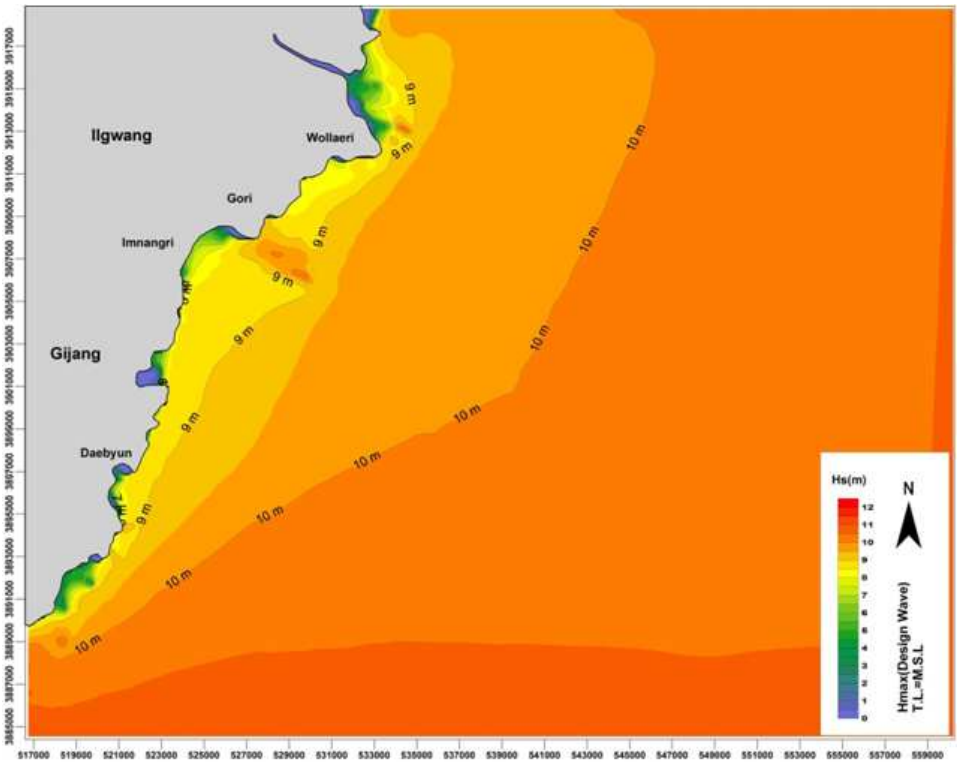
[그림 3-2-14] 기장해역의 계산격자 및 수심도.



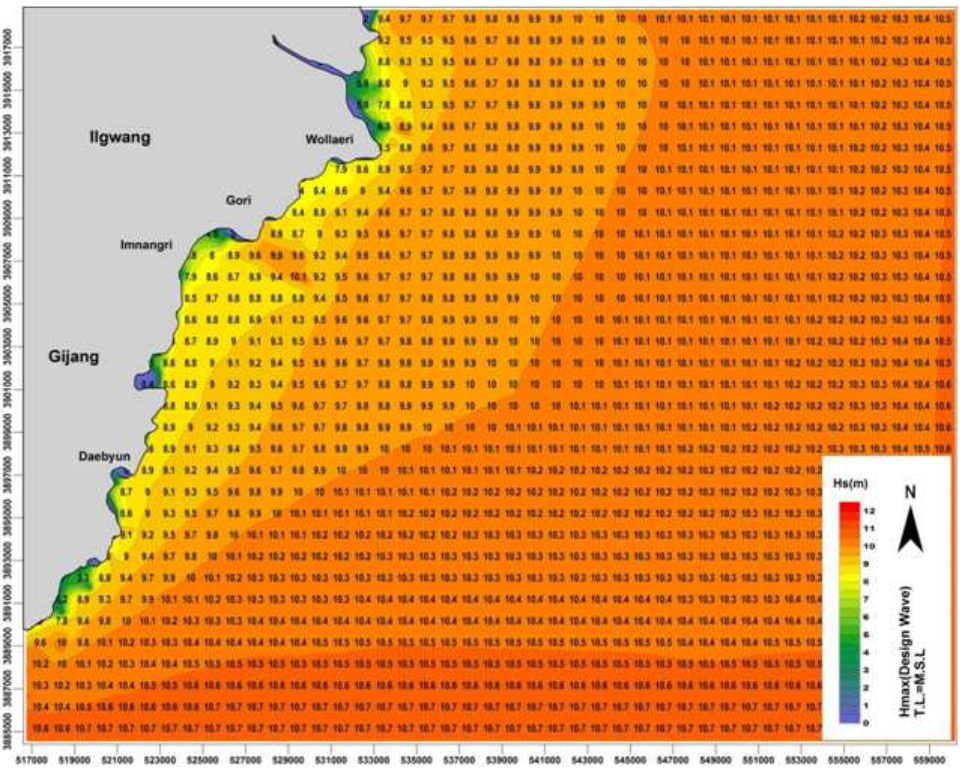
[그림 3-2-15] 완도해역의 계산격자 및 수심도.

기장해역의 각각의 방향에 대한 심해설계파 자료에서 최대값을 산출하여 도시한 것이 [그림 3-2-16]과 [그림 3-2-17]이다. 이는 평균해면과 약최고고조위이다. 기장해역의 경우 수심이 파고에 비하여 상대적으로 깊으므로 평균해면과 약최고고조위의 값의 차이가 거의 나타나지 않았다. 결과에서 남동으로부터 입사한 파랑조건에서는 외해에서 최대 11 m 이상의 파고가 산출되었다. 특히 고리 전면해역에서 수심이 상대적으로 얕아짐으로 의해 주변보다 큰 파고가 분포하였다.

완도해역의 각각의 방향에 대한 심해설계파 자료에서 평균해면 및 약최고고조위에 대한 최대값을 산출하여 도시한 것이 [그림 3-2-18]와 [그림 3-2-19]이다. 완도해역의 경우 수심의 변화가 심하여 평균해면과 약최고고조위의 값이 대상지역 전며에서 약 0.3 m의 값이 나타났다. 결과에서 남동으로부터 입사한 파랑에서 외해에서 최대 10.5 m 이상의 파고가 산출되었다. 특히 섬의 차폐효과에 의해 섬을 지나면서 파고가 급격하게 감소하였다. 평길도와 생길도 전면해역에서 4~5 m의 최대 심해설계파가 나타났다

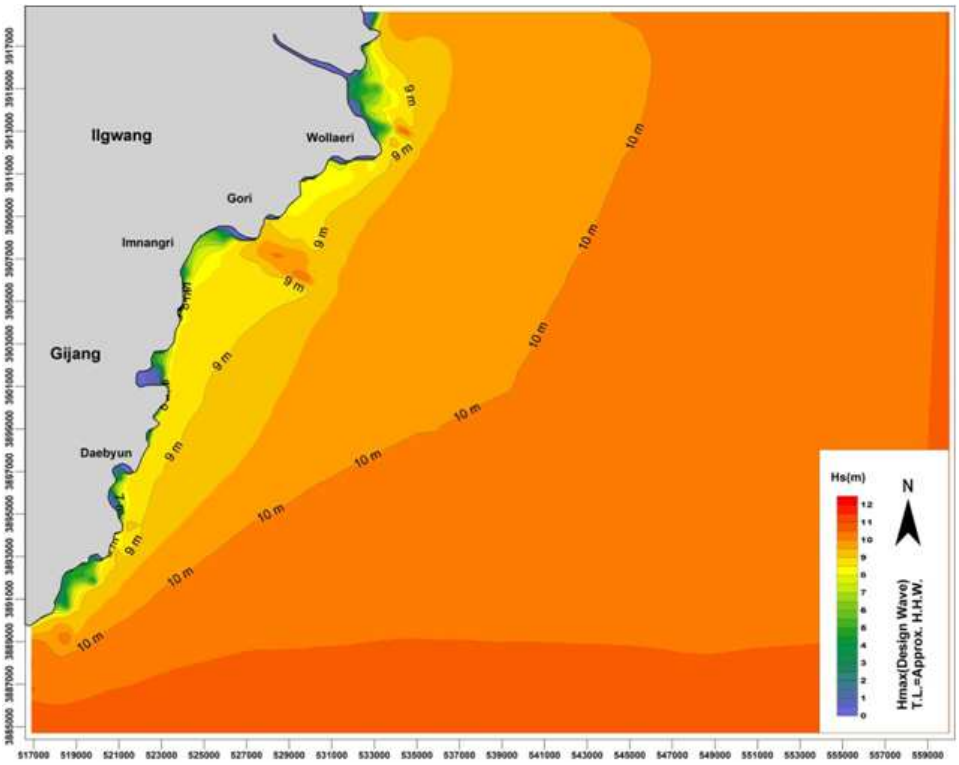


(a) 최대 심해설계파 등파고선도

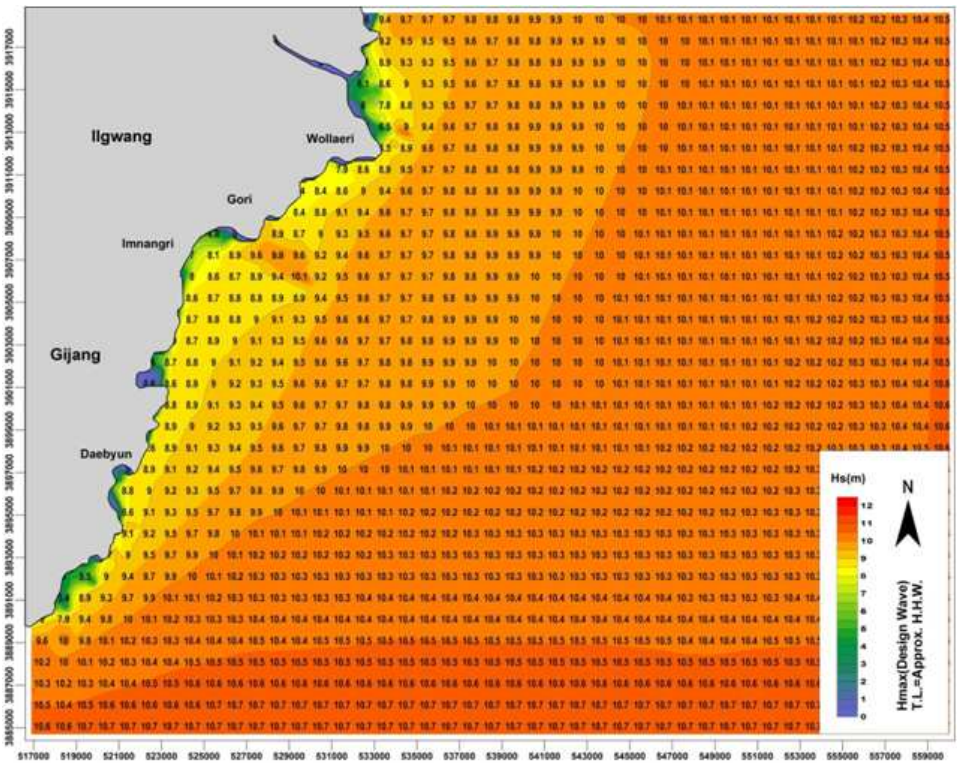


(b) 최대 심해설계파

[그림 3-2-16] 기장해역 최대 심해설계파(평균해면).

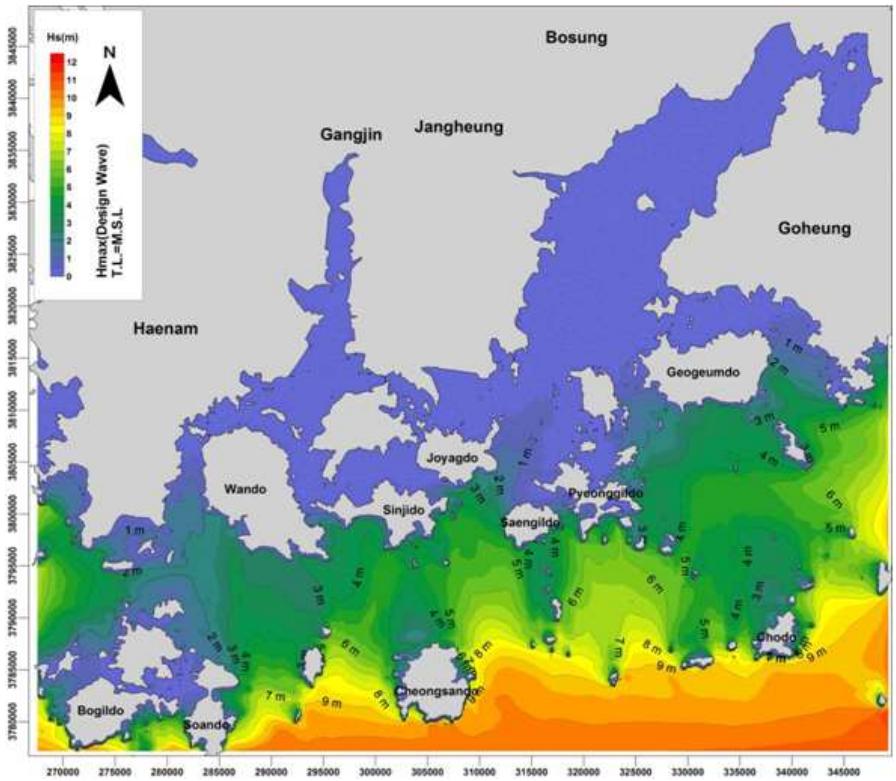


(a) 최대 심해설계파 등파고선도

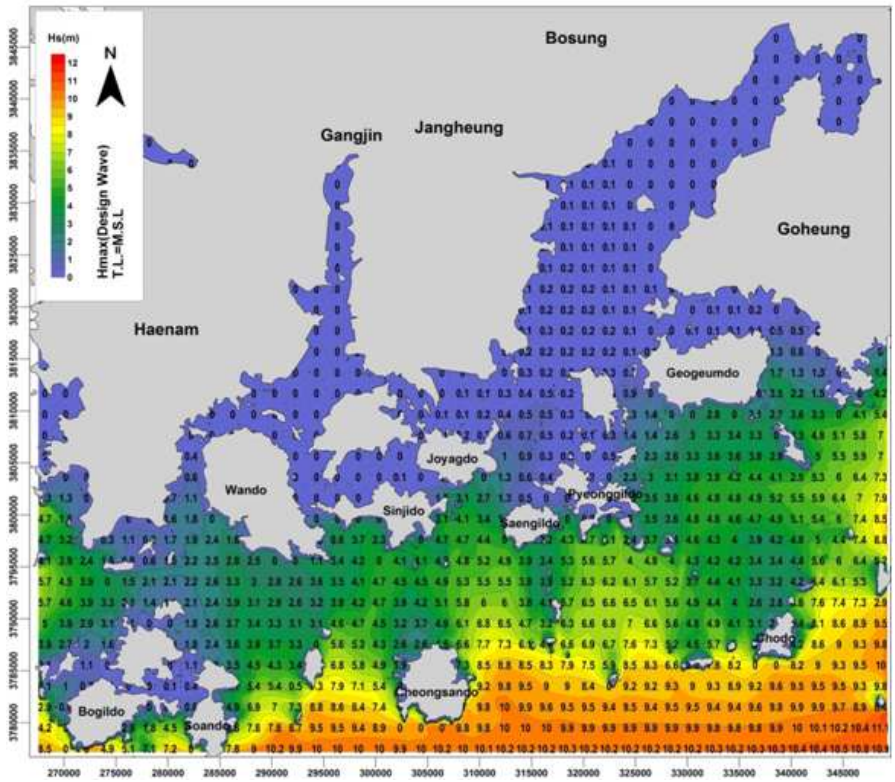


(b) 최대 심해설계파

[그림 3-2-17] 기장해역 최대 심해설계파(약최고고조위).

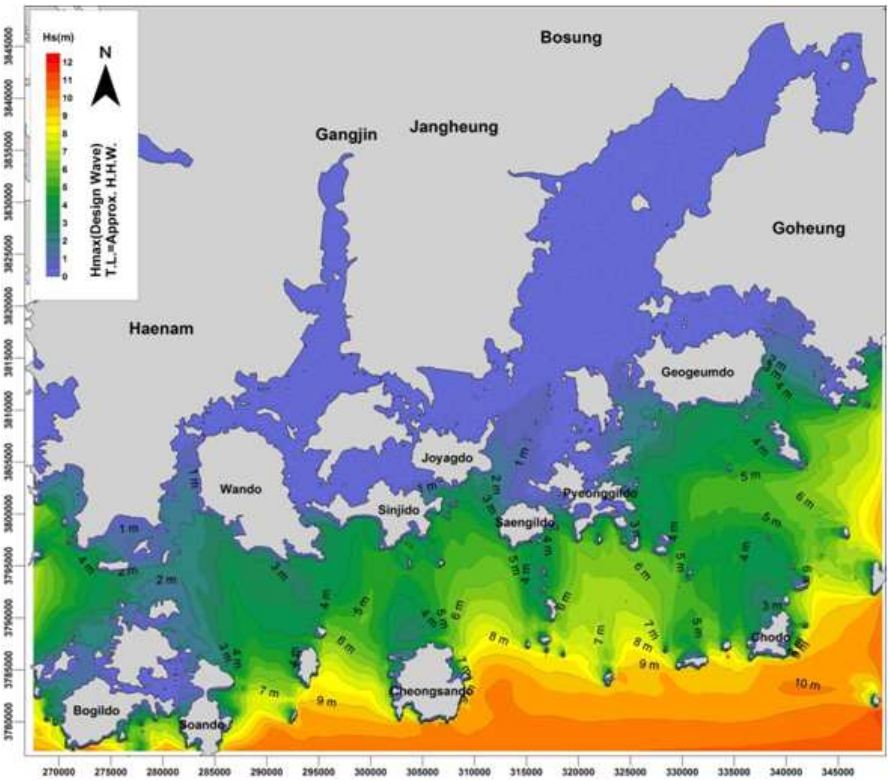


(a) 최대 심해설계파 등파고선도

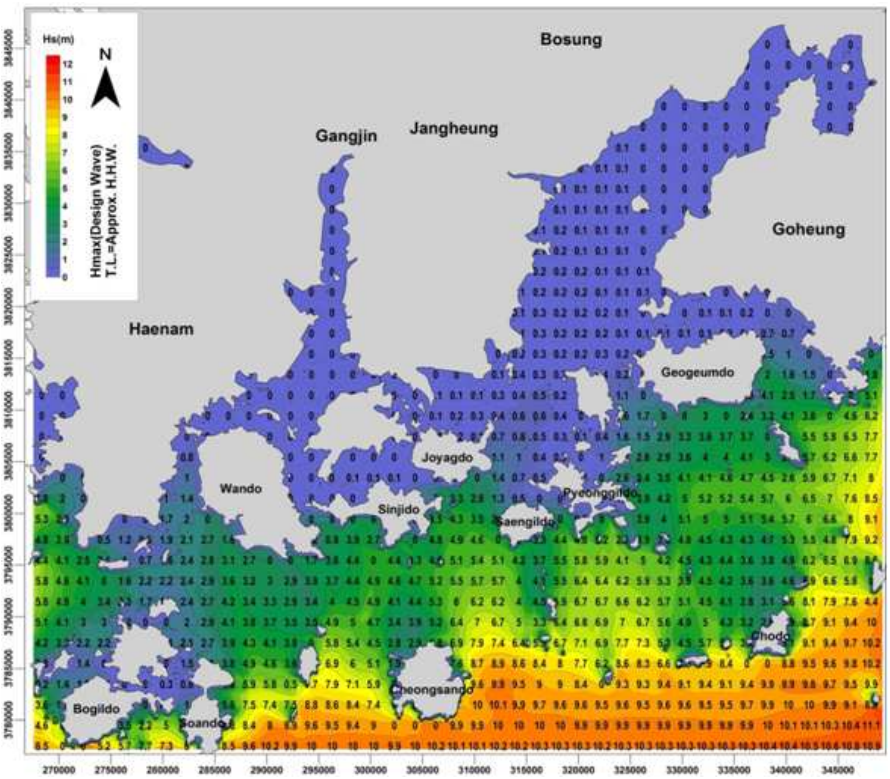


(b) 최대 심해설계파

[그림 3-2-18]완도해역 최대 심해설계파(평균해면).



(a) 최대 심해설계파 등파고선도



(b) 최대 심해설계파

[그림 3-2-19] 완도해역 최대 심해설계파(약최고고조위).

(나) 평상파

평상파 수치모형실험의 계산영역을 나타낸 것이 [그림 3-2-20]이다. 평상파 수치모형실험 영역은 해양부이 관측소를 포함하는 해역으로서 설계파 실험 영역보다 넓은 해역이다. [3]의 자료 중 해양부이 관측소는 거제도 및 거문도이며, 관측기간은 2001년 1월 ~ 2010년 12월의 자료를 사용하였다([표 3-2-7]).

각 파랑수치실험 대상해역의 입사파랑경계의 입력값은 [표 3-2-6]에서 소개하고 있다. 연중 자료에서 동계(12월~3월) 및 하계(6월~9월)의 자료를 사용하였다. 그리고 대표적인 파향 중 유의파고가 가장 큰 값으로 결정하였으며, 바람의 경우 유의파고가 결정된 시간의 값으로 결정하였다. 그리고 관측소에서 바람의 경우 센서가 2개이기 때문에 2개의 값이 계측되었다. 2개의 값이 큰 차이는 없으나 그 중 큰 값을 사용하였다. 동계 및 하계에서 3개의 주 파향을 결정하였으며, 이에 따른 각각의 값을 기술한 것이 [표 3-2-7]이다.

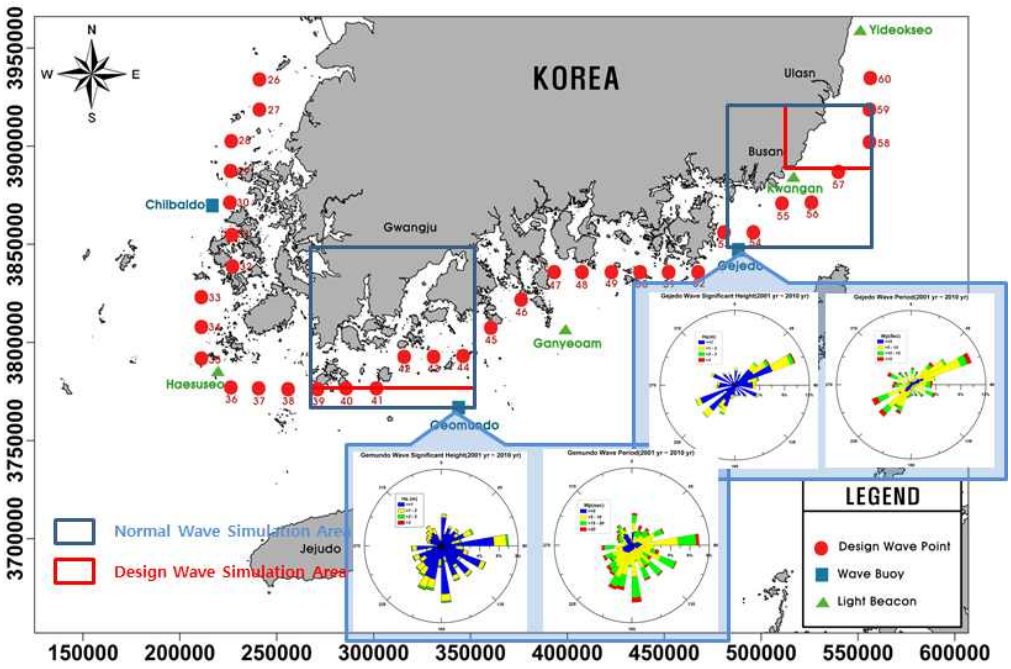
[표 3-2-7] 완도 및 기장해역 적용한 평상파

거문도	바람(W1)		바람(W2)		유의파고(m)	유의파주기(sec)	파향(°)
	풍속(m/s)	풍향(°)	풍속(m/s)	풍향(°)			
하계	25.7	56.0	25.9	54.0	4.2	11.8	90.0
	13.3	281.0	12.1	286.0	3.9	9.1	123.0
	15.2	178.0	15.0	182.0	6.0	10.7	213.0
동계	12.7	63.0	12.7	62.0	2.7	8.0	83.0
	7.4	264.0	7.4	257.0	4.2	9.1	178.0
	16.7	57.0	16.6	62.0	3.3	6.4	221.0

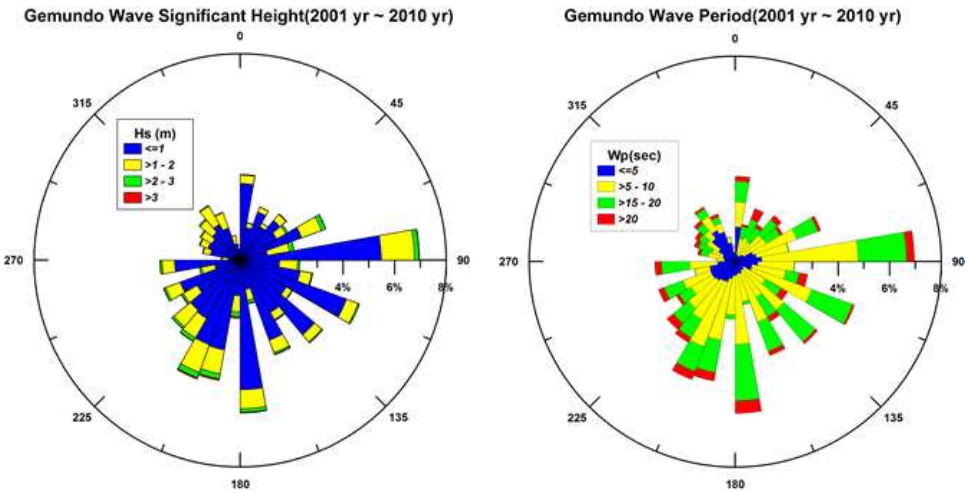
거제도	바람(W1)		바람(W2)		유의파고(m)	유의파주기(sec)	파향(°)
	풍속(m/s)	풍향(°)	풍속(m/s)	풍향(°)			
하계	16.5	30.0	17.5	25.0	3.8	8.0	51.0
	11.4	119.0	11.2	118.0	3.8	10.7	215.0
	7.9	167.0	8.1	178.0	3.8	10.7	208.0
동계	14.2	38.0	14.5	43.0	3.9	8.0	47.0
	16.1	48.0	16.3	41.0	4.8	9.1	58.0
	15.2	197.0	15.3	201.0	3.5	8.0	235.0

해양부이 관측소(거문도, 거제도)의 10년간 자료를 분석하여 나타낸 것이 [그림 3-2-21]와 [그림 3-2-22]이다. [그림3-2-21]은 거문도 관측소의 결과이며, [그림 3-2-22]는

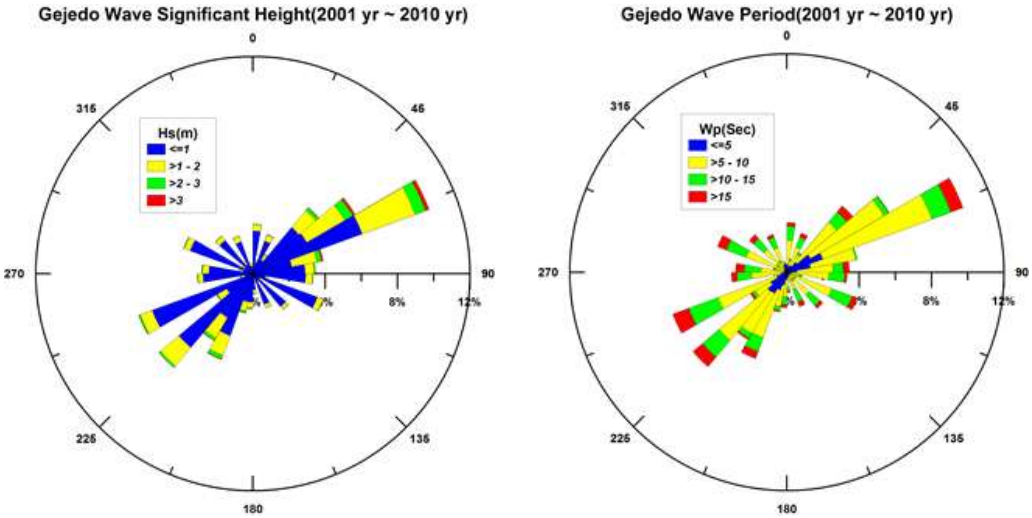
거제도 관측소 결과이다. 거문도의 경우 파고가 1 m이하가 대부분으로 나타났으며, 입사파향이 동, 남이 두드러지게 나타났다. 그리고 유의파 주기가 5~20 sec가 대부분이었으며, 동에서 입사하는 파랑보다 남에서 입사하는 파랑이 주기가 큰 것으로 나타났다. 거제도의 경우 입사하는 파향이 동북동과 남서 계열이 주된 흐름으로 나타났으며, 동북동 입사파랑이 남서 입사파랑보다 빈도수도 많았고 유의파고도 대체적으로 크게 나타났다. 유의파주기의 경우 장주기파랑이 남서계열에서 빈도수가 크게 나타났다.



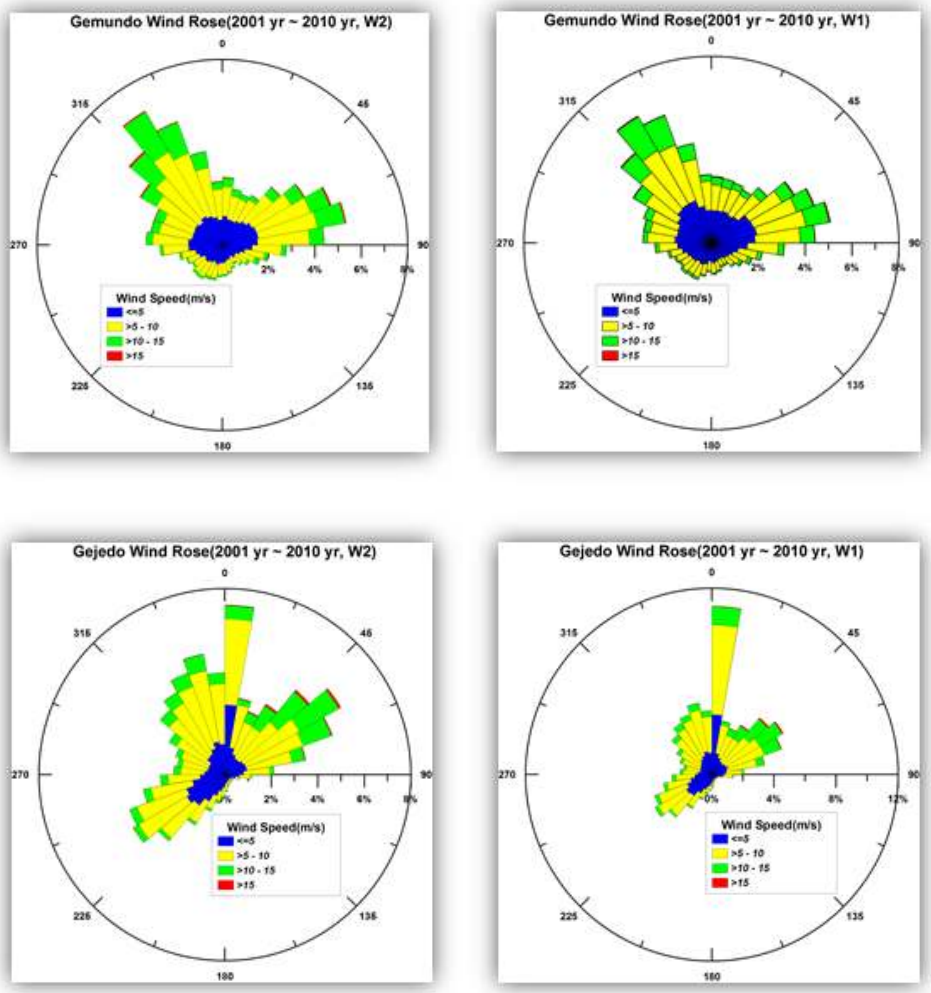
[그림 3-2-20] 해양부이 관측소 위치 및 계산영역.



[그림 3-2-21] 거문도 관측소 유의파고 및 유의파주기 분포도.

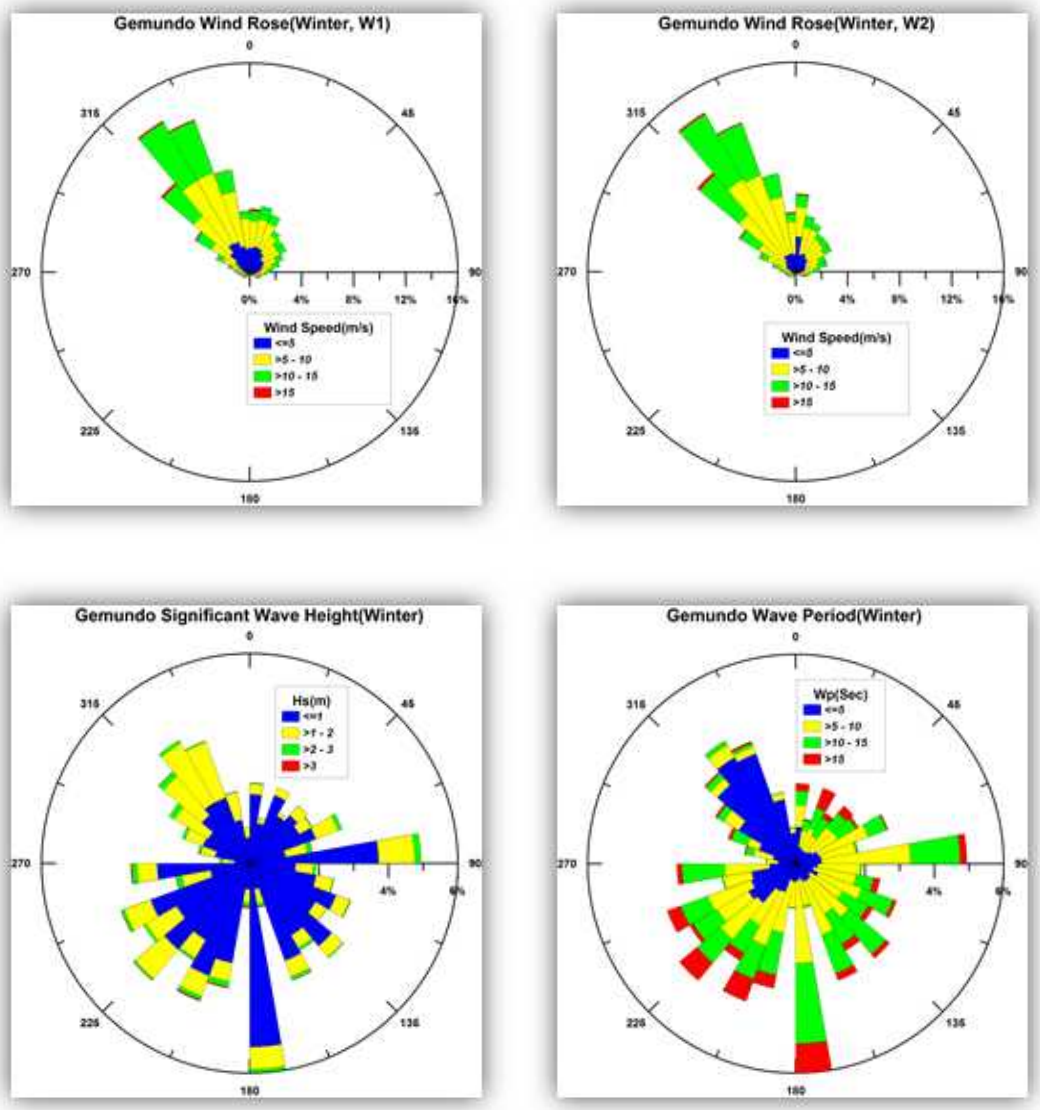


[그림 3-2-22] 거제도 관측소 유의파고 및 유의파주기 분포도.



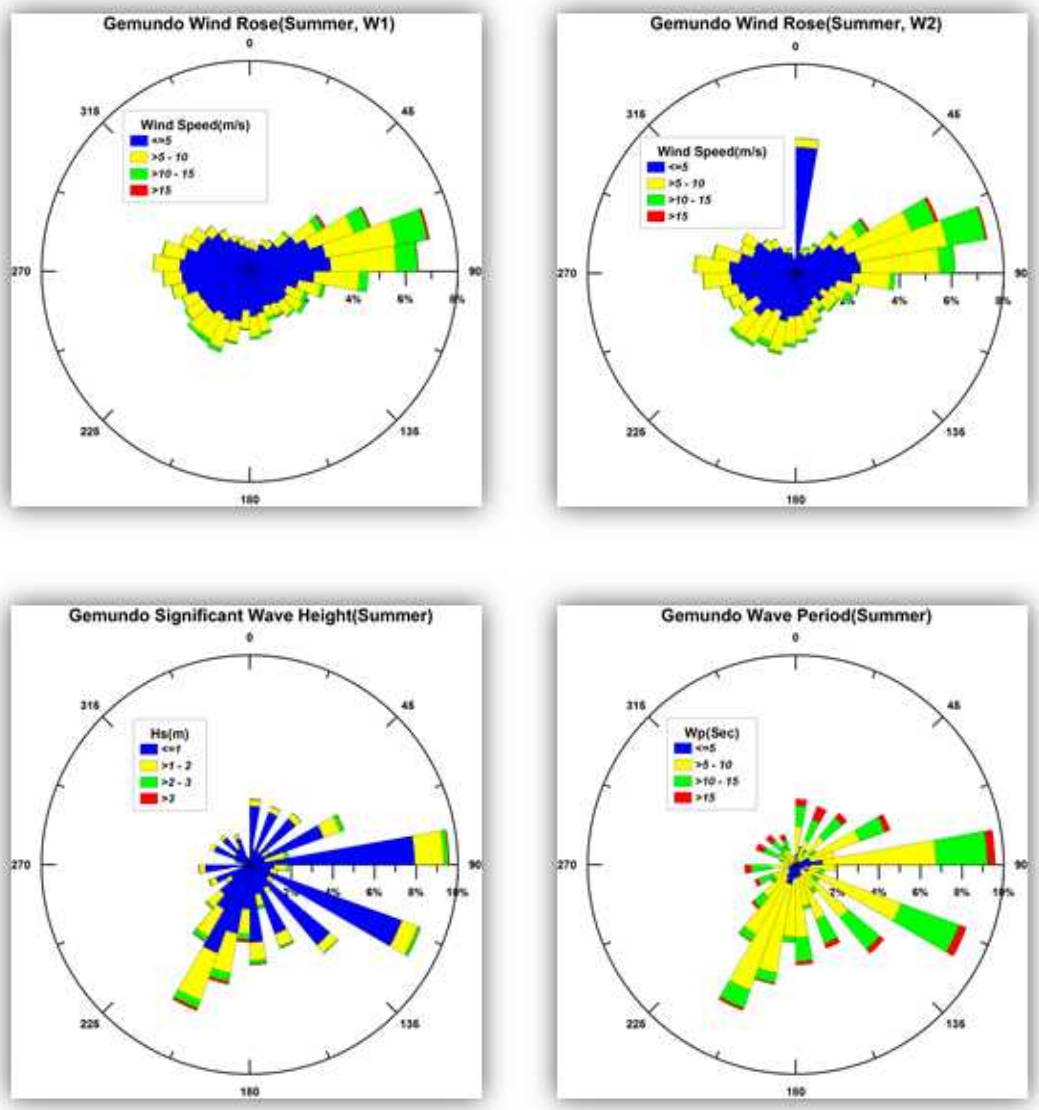
[그림 3-2-23] 해양관측소 바람장미도((상) 거문도, (하)거제도).

해양관측소에서 관측된 바람의 바람장미도를 나타낸 것이 [그림 3-2-23]이다. 거문도의 경우 북서계열의 풍향이 두드러졌고, 거제도의 경우 북서 및 동북계열의 풍향이 두드러졌다. 풍속은 2곳 동일하게 5~10 m/s가 주를 이루었으며, 거문도에서 거제도보다 큰 풍속이 나타났다. 거문도 해양관측소에서 동계 파랑 및 바람을 비교한 것이 [그림 3-2-24]이다. 하계의 경우 북서계열의 바람이 주를 이루었고, 풍속은 5~15 m/s가 주였다. 유의파고의 경우 남측에서 입사하는 파랑이 주를 이루었으며, 2 m이내의 파랑이 주를 이루었고, 유의파주기의 경우 북서에서 입사하는 파랑보다 남측에서 입사하는 파랑이 주기가 긴 것으로 나타났다.



[그림 3-2-24] 거문도 관측소의 동계 관측결과((상)바람장미도, (하)유의파고・주기).

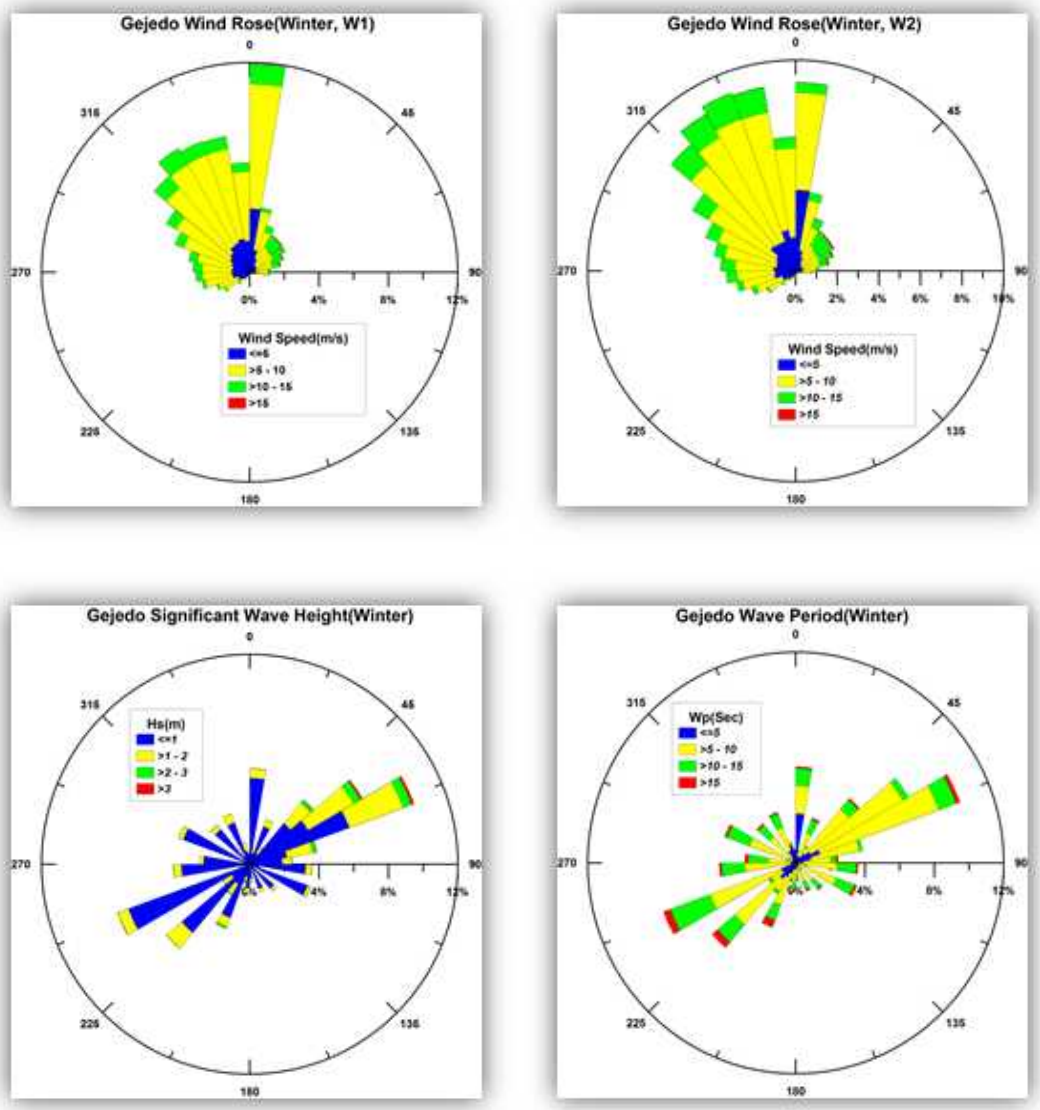
거문도 해양관측소에서 하계 파랑 및 바람을 비교한 것이 [그림 3-2-25]이다. 동계의 경우 동북동계열의 바람이 주를 이루었고, 풍속은 5~10 m/s가 주였다. 유의파고의 경우 동측 및 남남서에서 입사하는 파랑이 주를 이루었으며, 2 m이내의 파랑이 주를 이루었고, 유의파주기의 경우 남측에서 입사하는 파랑보다 동측에서 입사하는 파랑이 주기가 긴 것으로 나타났다.



[그림 3-2-25] 거문도 관측소의 하계 관측결과((상)바람장미도, (하)유의파고・주기).

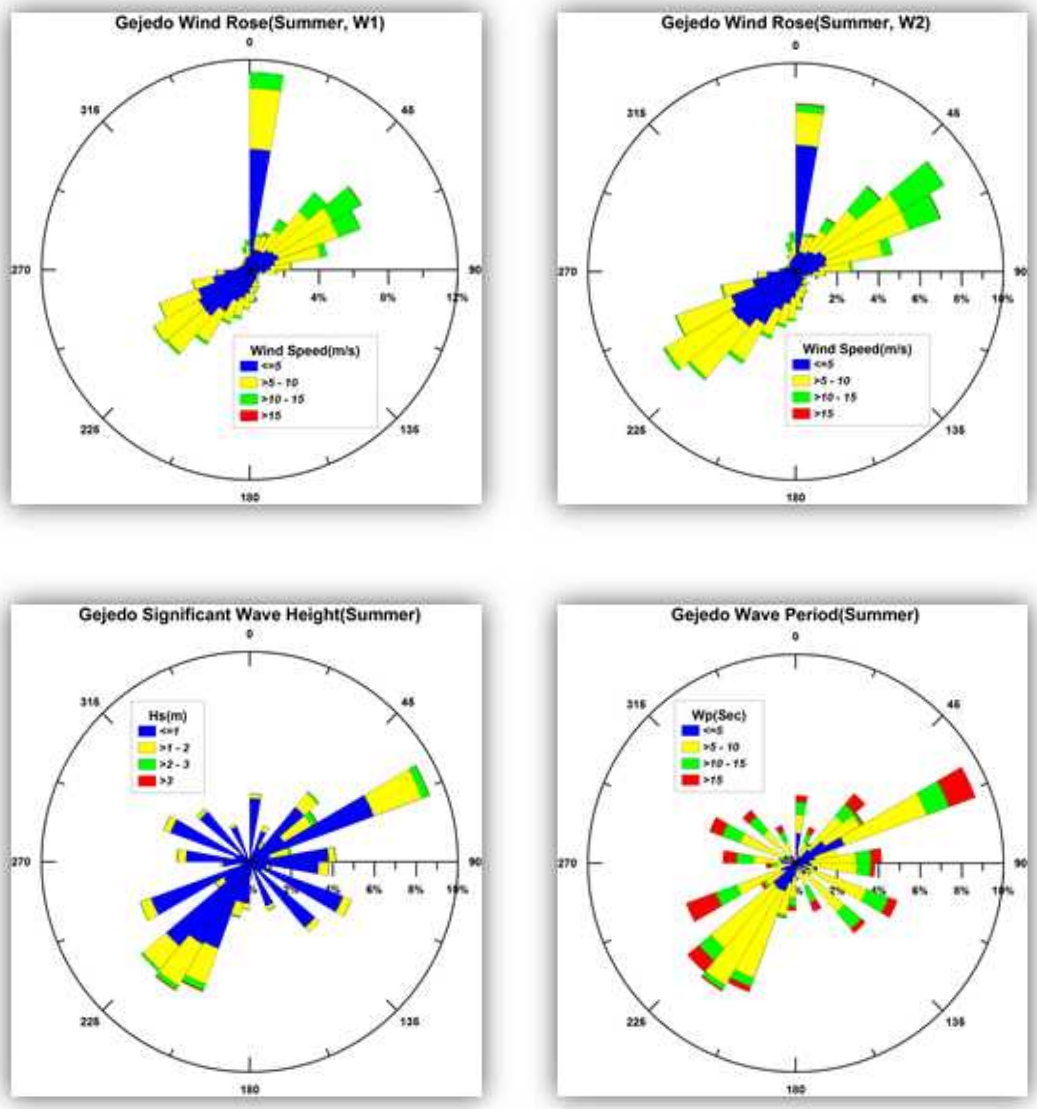
거제도 해양관측소에서 동계 파랑 및 바람을 비교한 것이 [그림 3-2-26]이다. 동계의 경우 북북서계열의 바람이 주를 이루었고, 풍속은 5~15 m/s가 주였다. 유의파고의 경우 동북동 및 서남서에서 입사하는 파랑이 주를 이루었으며, 2 m이내의 파랑이 주를

이루었으나 동북동 입사파랑의 경우 유의파고가 2 m이상의 빈도가 크게 나타났다. 유의파주기의 경우 동북동에서 입사하는 파랑보다 서남서측에서 입사하는 파랑이 주기가 상대적으로 긴 것으로 나타났다.



[그림 3-2-26] 거제도 관측소의 동계 관측결과((상)바람장미도, (하)유의파고・주기).

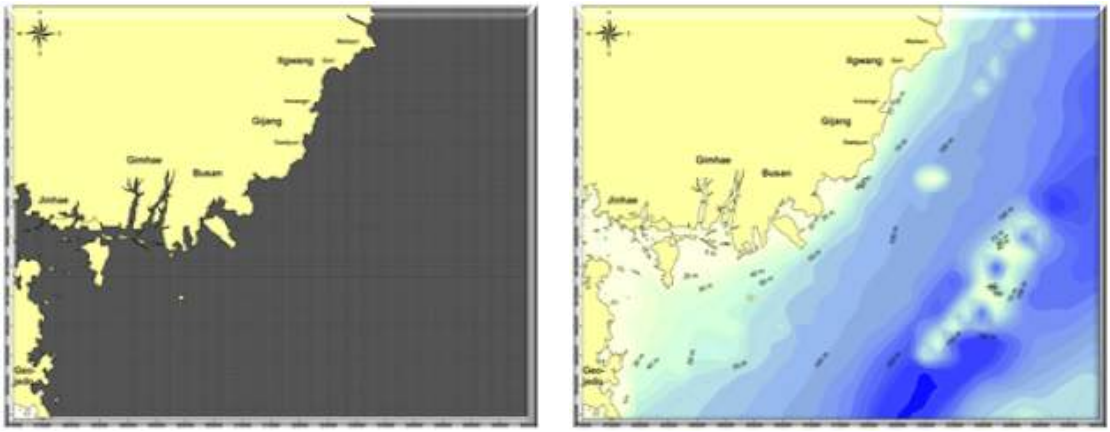
거제도 해양관측소에서 하계 파랑 및 바람을 비교한 것이 [그림 3-2-27]이다. 하계의 경우 북동 및 남서계열의 바람이 주를 이루었고, 풍속은 5~15 m/s가 주였다. 유의파고의 경우 동북동 및 남남서에서 입사하는 파랑이 주를 이루었으며, 2 m이내의 파랑이 주를 이루었으며, 유의파주기의 경우 남남서에서 입사하는 파랑보다 동북동에서 입사하는 파랑이 주기가 상대적으로 긴 것으로 나타났다.



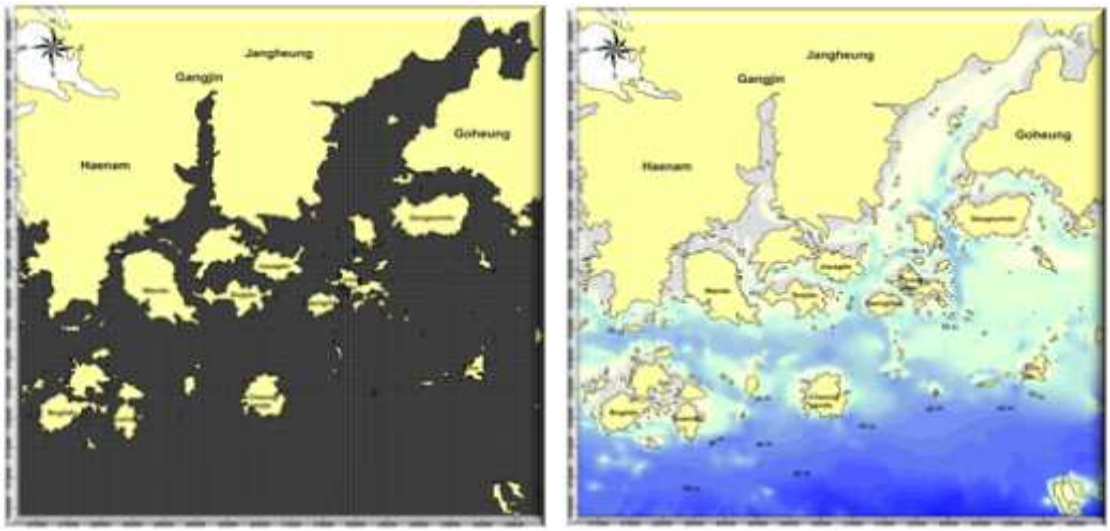
[그림 3-2-27] 거제도 관측소의 하계 관측결과((상)바람장미도, (하)유의파고・주기.

기장 해역 및 완도 해역의 평상파 산출을 위하여 계산된 영역은 [그림 3-2-28]과 [그림 3-2-29]이다. 각 해역의 계산 격자 및 수심도를 나타내고 있다. 기장의 경우 주변에 섬도 존재하지 않고 단순한 해안선을 가지고 있으며, 관측소 영역을 포함하기 위하여 거제도 동측연안을 포함한 해역이다. 그리고 기장해역의 수심은 해안선과 평행하게 발달하고 있다. 계산해역에서 수심이 가장 깊은 곳이 220 m로 나타났다. 완도해역의 경우는 복잡한 해안선을 가지고 있으며, 특히 많은 섬들이 차폐영역을 형성하고 있다. 또한 수심도 최대 50m 정도로 나타나고 있다. 완도해역은 거문도해역까지 포함하여 계산을 실시하였다. 그러나 설계파와 비교하기 위하여 그림의 영역은 설계파와 같은 영역으로 도시하였다.

각 실험조건에 대한 수위는 기장의 경우 고리의 약최고고저면(H.W.L)계측값인 0.83 m, 평균해면(M.S.L) 계측값인 0.41 m을 고려하였다. 또한 완도 해역의 경우 완도 및 초도에서 관측되어진 값을 사용하였는데, 약최고고저면(H.W.L)계측값인 3.84 m, 평균해면(M.S.L) 계측값은 1.92 m를 고려하였다.

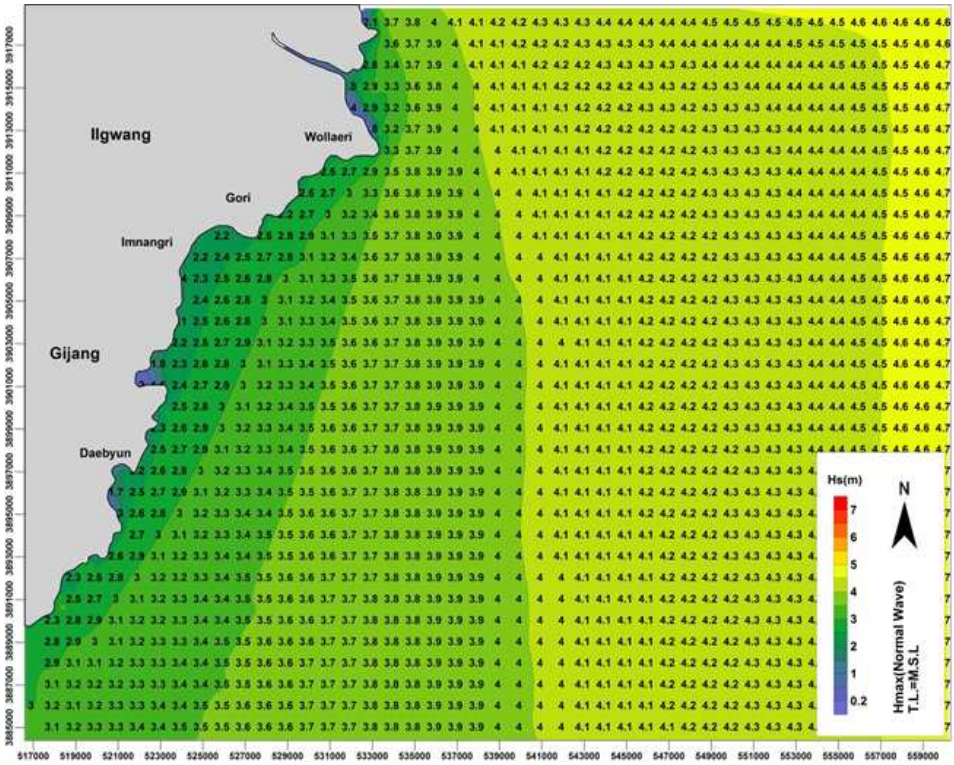


[그림 3-2-28] 기장해역의 계산격자 및 수심도.

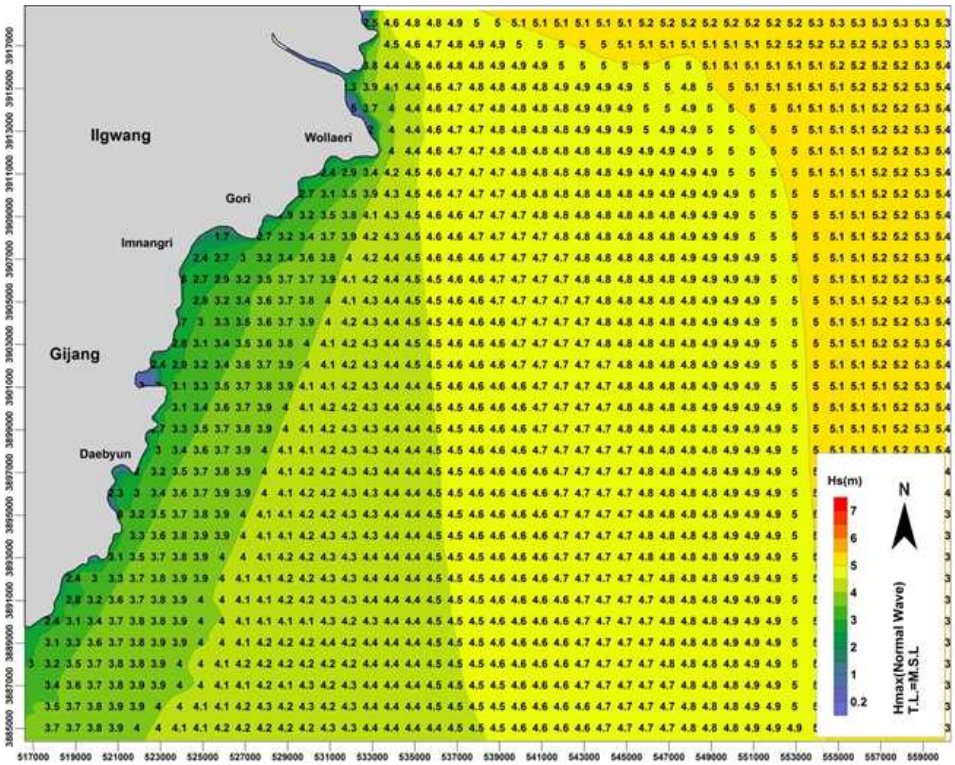


[그림 3-2-29] 완도해역의 계산격자 및 수심도.

기장해역의 계절별, 조위별 평상파 자료에서 최대값을 산출하여 도시한 것이 [그림 3-2-30]와 [그림 3-2-31]이다. [그림 3-2-30]은 평균해면, [그림 3-2-31]은 약최고고조위에서 수치실험한 결과이다. 기장해역의 경우 수심이 파고에 비하여 상대적으로 깊으므로 평균해면과 약최고고조위의 값의 차이가 거의 나타나지 않았다.

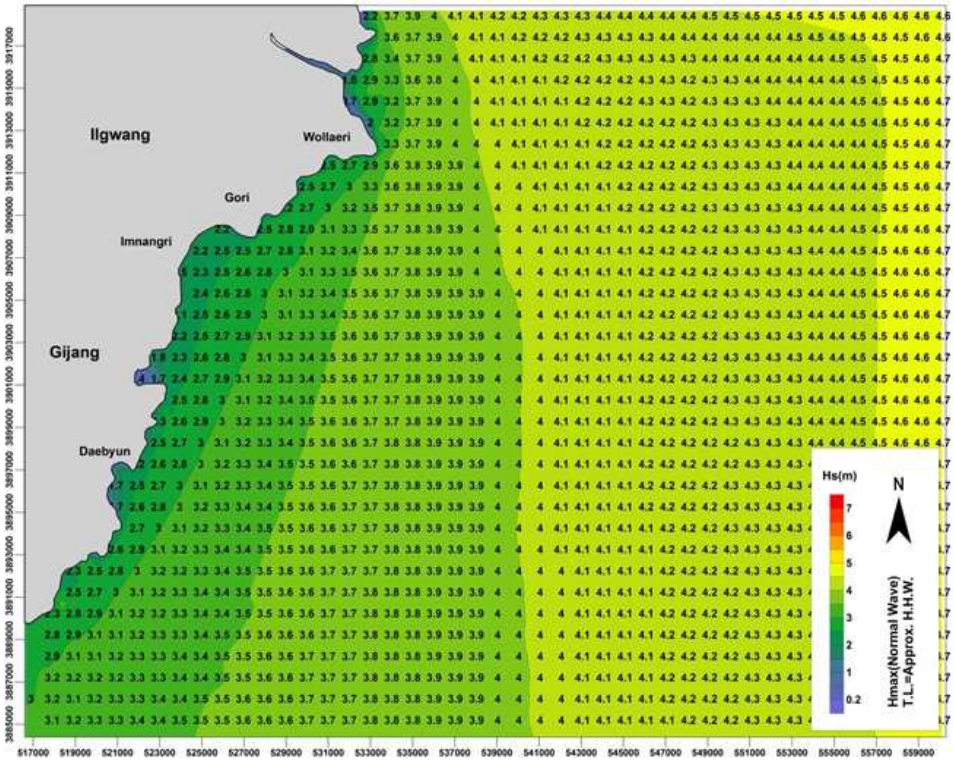


(a) 하계

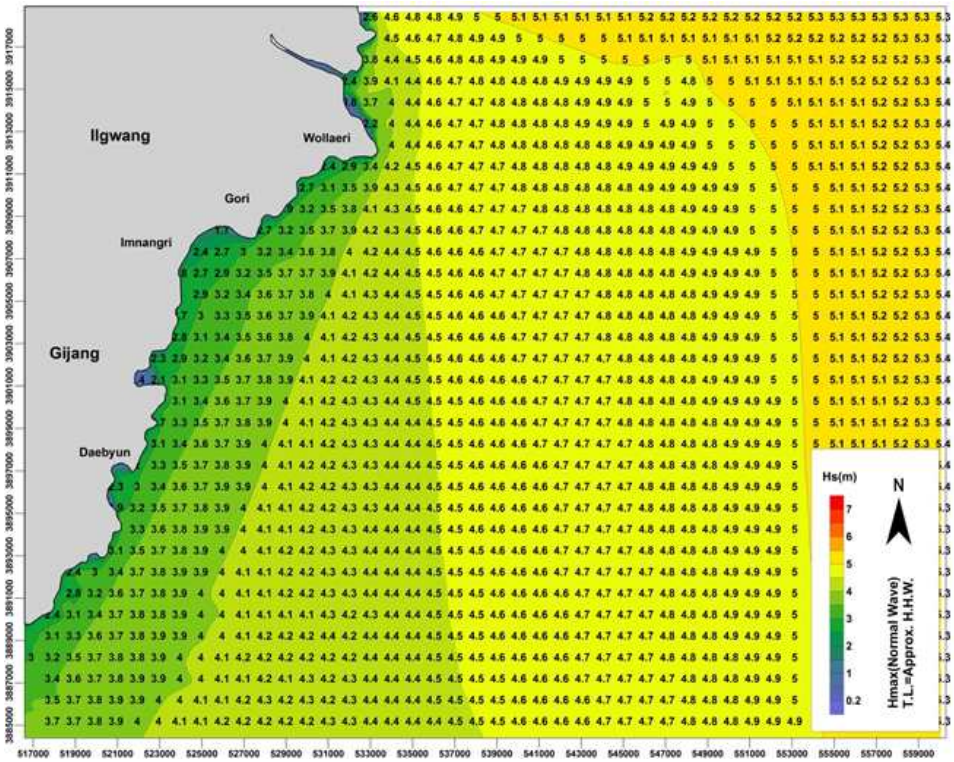


(b) 동계

[그림 3-2-30] 기장해역 최대 평상파(평균해면).

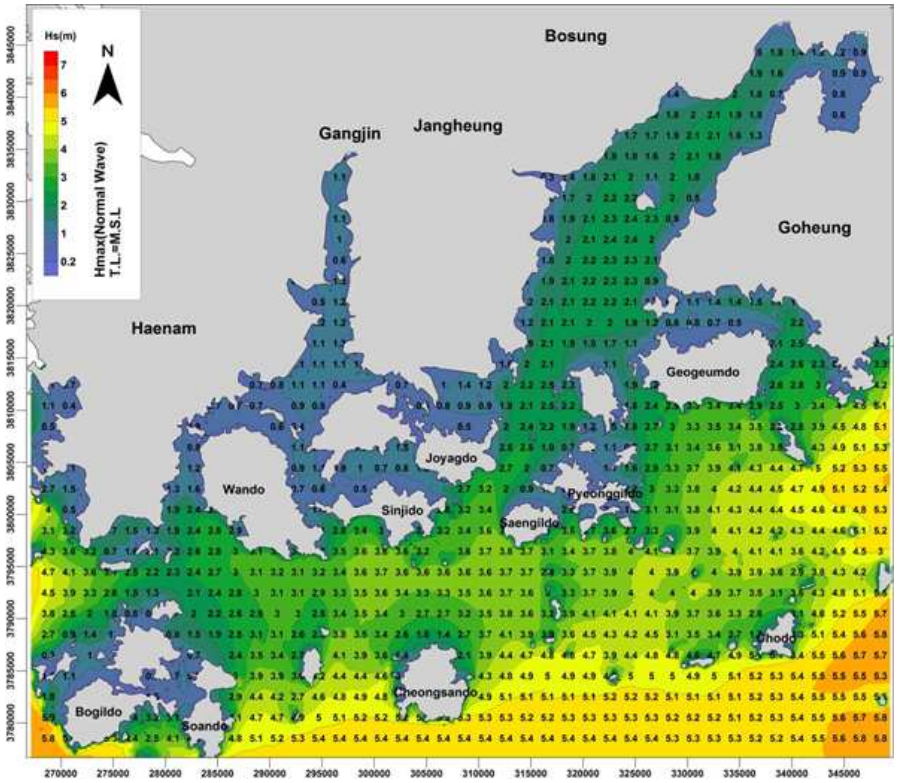


(a) 하계

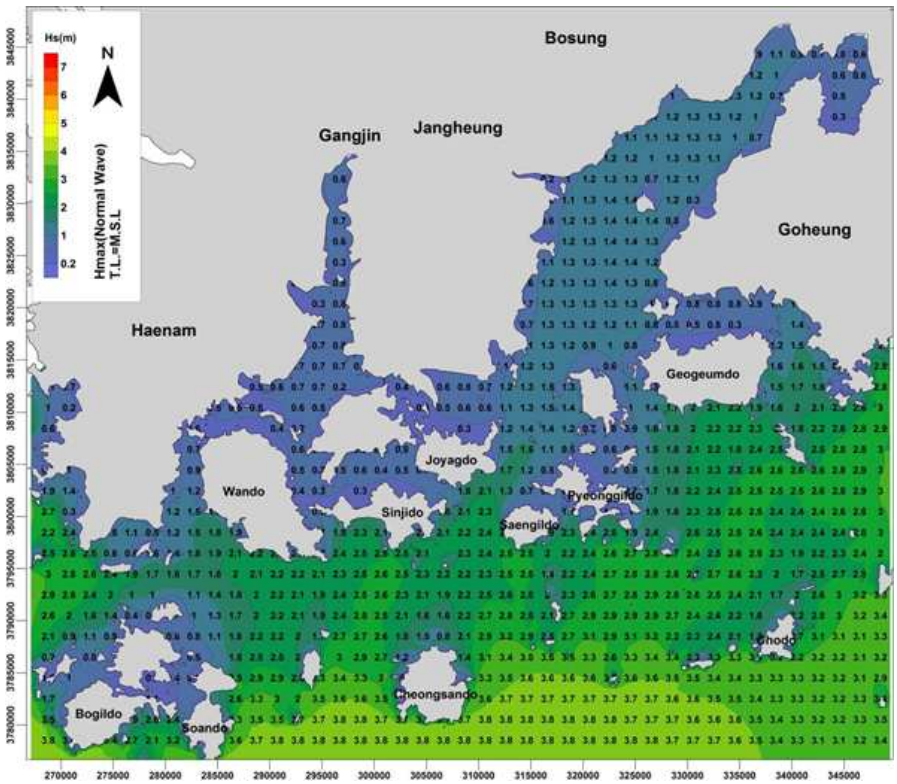


(b) 동계

[그림 3-2-31] 기장해역 최대 평상파(약최고고조위).

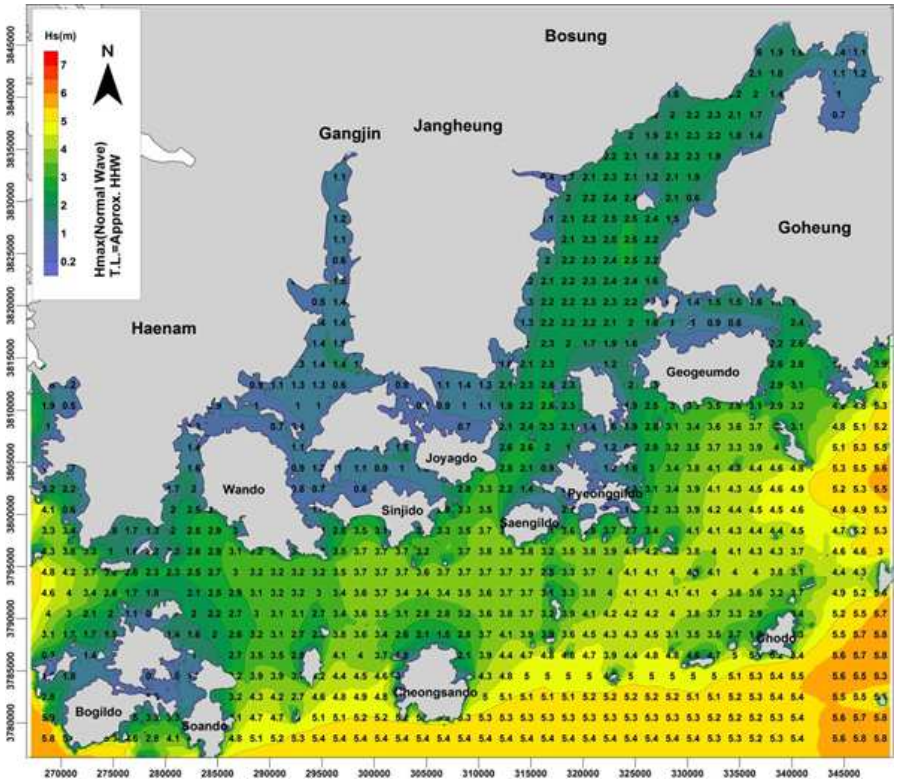


(a) 하계

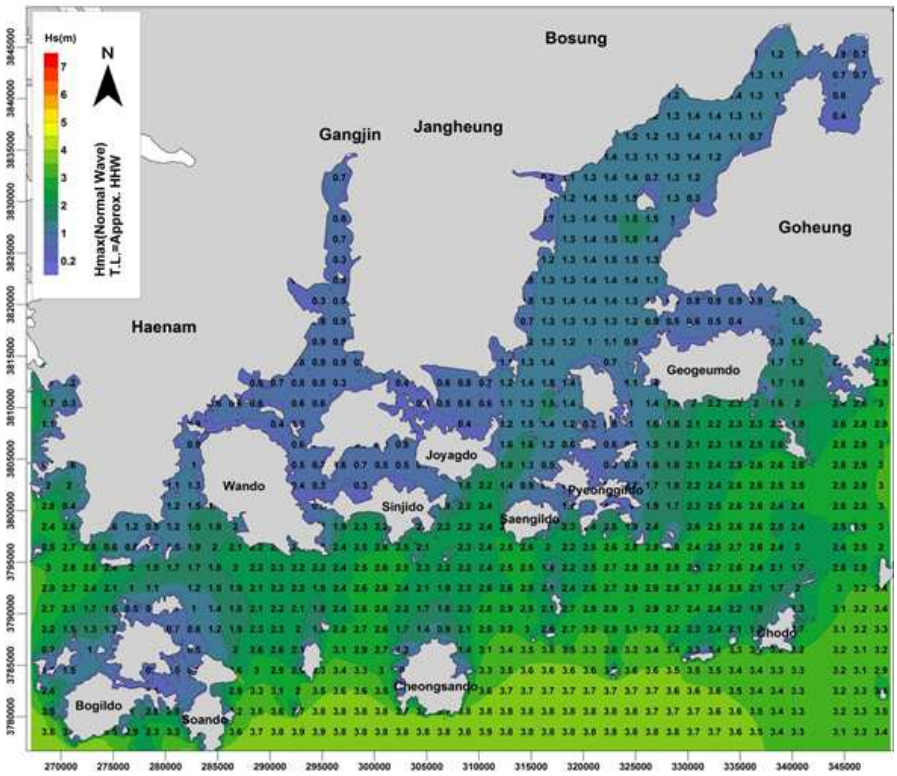


(b) 동계

[그림 3-2-32] 완도해역 최대 평상파(평균해면).



(a) 하계



(b) 동계

[그림 3-2-33] 완도해역 최대 평상파(약최고고조위).

결과에서 동계가 하계보다 유의파고가 크게 나타났으며, 대상해역인 고리해역에서 2.4~3.5 m 범위로 산출되었다. 이는 고리 전면해역에서 수심이 상대적으로 얕아짐으로 의해 나타나는 것으로 판단된다.

완도해역의 계절별, 조위별 평상파 자료에서 최대값을 산출하여 도시한 것이 [그림 3-2-32]와 [그림 3-2-33]이다. [그림 3-2-32]는 평균해면, [그림 3-2-33]은 약최고고조위에서 수치실험한 결과이다. 완도해역의 경우 수심의 변화가 심하여 평균해면과 약최고고조위의 값이 대상지역 전면에서 약 0.3 m의 값이 나타났다. 완도해역의 경우 기장해역과 반대로 하계의 유의파고가 크게 나타났으며, 결과에서 5.5 m이상의 유의파가 입사한 파랑에서 섬의 차폐효과에 의해 섬을 지나면서 파고가 급격하게 감소하여 대상해역에서 3.8 m로 감소하는 것으로 나타났다. 평균해면 조건의 경우 평길도와 생길도 전면해역에서 하계에 3.5 ~ 3.8 m, 동계에 2.3 ~ 2.7 m로 나타났다. 또한 약최고고조위 조건의 경우 하계에서 3.6 ~ 4.0 m, 동계에서 2.3 ~ 2.7 m로 동계의 경우 평균해면과 유사하게 나타났다.

4. 요약 및 제언

가. 해조류 시험양식장의 해양환경 설계인자의 조사· 분석

2007년 11월 12일 ~ 2008년 3월 29일까지 방향성 파고계(MIDAS-DWR)를 이용한 기장 동암항의 파랑관측 결과, 기장해역에 입사 가능한 최대파고는 8.19 m이며, 유의주기 중 가장 큰 주기는 15.81 sec이다. 이러한 값은 현재 시설된 해조류 양식장이 수심 30 m 이내에서는 구조적으로 안전하다는 반증이지만, 만약 시설물이 대형화될 경우 어떠한 결과를 보여줄 지는 예상할 수가 없다. 특히, 조류속과 해빈류, 해류등의 합력으로 발생되는 하중은 설계시 구조물 안전에 또 하나의 요소로 고려하여야 할 것이다.

2월 18일 14:00부터 2월 21일 15:00까지 기장 문동항 시험양식장에서 계측된 연속 파랑관측 분석결과, 유의파고, 최대파고, 평균주기의 분포는 각각 0.30~1.39 m, 0.40~2.06 m, 5.65~7.31 sec로 나타났다. 또한, 2011년 3월 13일 12:00부터 3월 31일 13:00까지 18일 동안 수행한 완도 시험양식장 파랑관측 결과, 유의주기 0.10~1.14 m, 최대파고 0.15~1.66 m, 평균주기 4.35~8.74 sec로 나타났으며, 풍파의 주기가 6~8 sec의 범위를 가지는 것으로 감안하면, 시험양식장으로 입사하는 평상시 파랑은 풍파에 기인하는 것을 알 수 있었다.

나. 양식시설의 설계환경인자 분석 및 해석(수치시뮬레이션)

(1) 파랑변형 수치모의

외해 대량양식의 적지선정을 위하여 기장과 완도해역에서 심해설계파 및 평상파에 대한 파랑자료를 구축하고자 하였다. 대상해역인 기장 및 완도해역에 대하여 평균해면, 약최고고조위에 대하여 심해설계파 및 평상파를 산출하였으며, SWAN(ver. 4.72)수치모형을 사용하였다. 심해설계파 입력조건은 2005년 12월 한국해양연구원의 [4]의 설계파 정점을 고려하였으며, [3]의 평상파의 경우 거제도 및 거문도 해양부이 관측소에서 관측되어진 최근 10년간(2001년 1월 ~ 2010년 12월)의 자료를 분석하였다.

심해설계파 산출 결과에서 기장해역의 수심이 급경사를 이루고, 해안선과 평행하게 수심이 발달한 해역이다. 기장해역에서 심해최대 설계파 결과를 살펴보면 남동으로부터 입사한 파랑조건에서는 외해에서 최대 11 m 이상의 파고가 산출되었다. 특히 고리 전면해역에서 수심이 상대적으로 얕아짐으로 의해 주변보다 큰 파고가 분포하였으며 8~9 m의 최대 심해설계파고가 나타났다. 평균해면과 약최고고조위에서 기장해역은 변화가 미미하였다. 지형적으로 살펴보면 연안에서는 3~4 m로 나타났으나. 수심이 20~30 m 내외에서는 8~9 m의 파고가 나타났다. 고리인근 해역 보다 월래리 북측해역에서 파고가 낮게 나타나 구조물의 안정성에 보다 유리할 것으로 판단된다.

완도해역의 경우 섬이 발달하여 차폐역할을 하는 해역으로서 남동으로부터 입사한 파랑에서 외해에서 최대 10.5 m 이상의 파고가 산출되었으며, 섬의 차폐효과에 의해 섬을 지나면서 파고가 급격하게 감소하였다. 즉, 보길도, 소안도, 청산도, 초도 전면해역의 경우는 파랑의 영향을 외해로부터 직접적으로 받는 해역으로서 파고가 높게 나타났다. 그러나 위에 열거한 섬들이 차폐 역할을 하는 완도, 신지도, 조약도, 생길도, 평길도 및 거금도 전면해역의 경우 파랑의 영향이 감소하였다. 적지선정을 위하여 완도, 신지도 생길도 평길도 거금도 전면 해역이 유리할 것으로 판단되며, 특히 보길도, 소안도, 청산도의 차폐영향을 받는 완도 전면해역이 보다 유리 할 것으로 판단된다.

평상파의 결과에서 기장해역의 경우 계절적으로 하계보다 동계에 보다 높은 파고가 나타났다. 월래리, 고리, 임랑리 및 대변의 전면해역의 파고를 비교해보면 0.3~0.8 m 동계가 높았다. 외해양식의 대상종을 고려하면 동계의 파고가 중요하므로, 동계에 월래리, 고리, 임랑리 및 대변항 전면해역의 파고를 비교하면 고리와 임랑리 전면해역이 안정할 것으로 판단된다. 특히, 고리해역에서 2.4~3.5 m 범위로 산출되었다. 이는 고리 전면해역에서 수심이 상대적으로 얕아짐으로 의해 나타나는 것으로 판단되며, 구조물의 안정에 유리할 것이다.

완도해역의 경우 기장해역과는 반대로 하계보다 동계에 낮은 파고를 보였다. 조위의 변화 즉, 약최고고조위와 평균해면의 결과에서는 최대 0.3m의 변화가 나타났다. 완도해역은 섬이 발달한 해역으로서 하계 결과에서 5.5 m이상의 유의파가 입사한 파랑에서

섬의 차폐효과에 의해 섬을 지나면서 파고가 급격하게 감소하여 대상해역에서 3.8 m로 감소하는 것으로 나타났다. 완도해역에서 대상종을 고려하여 동계의 결과를 살펴보면, 보길도, 소안도, 생길도 및 초도 배후의 완도, 신길도, 조약도, 생길도, 평길도 및 거금도 전면해역이 구조물 안정성에 유리 할 것이다. 특히, 외해 대량양식을 고려했을 때, 신지도, 생길도 및 평길도 전면해역보다 거금도, 조약도 및 완도 전면해역이 유리할 것이다. 이들 중 완도 서남측 해역과 조약도 남측, 거금도 남서측이 안정할 것이다.

5. 향후계획

가. 대량양식 대상종이 결정이 된다면 구조물 시스템 구성요소를 대상종에 맞게 구성하고 각 구성요소의 특성을 분석하고자 한다. 특히, 채취 및 이송시스템과 구조물 형상은 수많은 Case study가 수행되어야 하므로, 구체적인 시스템 구성요소를 결정하고자 한다.

나. 시험양식장에서 이루어진 설계인자에 대한 분석 및 해석은 아직 자세한 해조류별 생산량이 나오지 않은 관계로, 실제 대량양식 적지에 적용이 가능한지 검토하기 위하여 물리적, 생물학적 측면에서 재해석 및 검토가 필요하고, 외해에 대량양식시설을 설치할 수 있는 해역을 찾기 위하여 대상해역을 영역화하여 해도를 바탕으로 해저지형 조건을 세밀하게 측량하여 실제 시설물 적용시 발생할 오류를 줄일 계획이다. 또한 아직 명확하게 나오지 않은 구조물의 형태 및 설계에 대한 다양한 설계기법과 자료를 획득하여 기본설계시 참고자료로 사용할 예정이다.

다. 연간 해조류 생산량, 필요한 공급단가 등이 향후 명확하게 설정되어, 생산 규모에 맞는 효과적인 구조물에 대한 개념 설계 및 기본 설계를 수행하고, 현재 항만 및 어항 설계기준에 제시된 설계값을 기준으로 구조물과 양식장 기본설계를 실시할 예정이다.

제 3 절 양식시설 환경 모니터링

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

본 연구는 저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위한 해조류의 대량생산 기술 개발의 세부연구과제로서, ① 지속적인 해조류 대량생산을 위한 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발, ② Pilot 시설의 안정성 및 기능성 확보를 위한 지속적인 유지관리 시스템 구축에 그 목적이 있다. 본 연구의 최종 목적은 다음과 같으며 연차별 연구 목표 및 세부 추진내용을 요약하면 [그림 3-3-1]과 같다.

(1) 해조류 대량생산을 위한 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계
(2) Pilot시설의 안정성/기능성 확보를 위한 지속적인 유지·관리 시스템 구축
(3) 외해 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발 Manual 도출

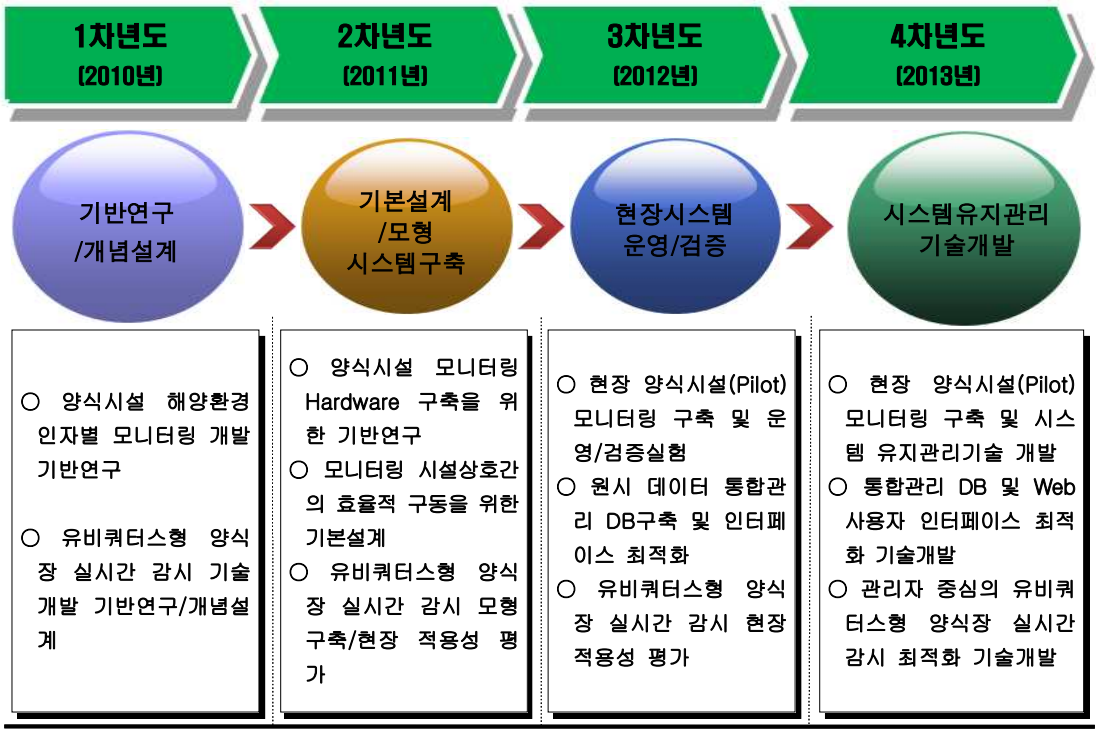
이를 위하여 단기적으로는 본 연구에서 추진하는 외해 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템 기술개발 및 현장 적용성을 평가하고, 최종적으로 우리나라 전해역에 대해서 해양외력환경이 열악한 외해 환경하에서 적용가능한 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발 매뉴얼을 도출하고자 한다.

나. 연구 내용 (1차년도)

본 연구의 1차년도(2010년) 세부 연구내용은 양식시설 환경 모니터링 기술 개발을 위한 기반연구/개념설계 단계로서 다음과 같은 내용을 바탕으로 한다.

(1) 양식장 해양환경 인자별 모니터링 개발 기반연구

(가) 외해 양식시설 환경 모니터링 설계 개념 정립
- 기술자료의 수집분석 및 실태조사
- 국내외 연구동향 분석 및 연구보고자료 수집/분석
- 외해 대량 양식시설의 기능 및 목적 설정



[그림 3-3-1] 양식시설 환경 모니터링 연차별 연구 목표 및 세부 추진내용.

(나) 안정성/기능성 설계인자의 분석 및 해석

- 외해 양식시설물 적지의 해양환경 인자 자료 수집/분석: 대표적인 해양물리인자인 파랑 및 조류에 대하여 연속적인 관측을 통해 해양물리특성을 파악

㉠ 지속적인 환경모니터링을 위해 외해 양식시설물 또는 그 인근 수역에 관측기기를 설치하기 위한 기초자료(설계자료) 획득

㉡ 현재 심해에서 구동되고 있는 국가관측망을 활용하여 외해 양식시설물 인근의 외력환경변화 특성 평가 - 필요시 수치모델링 수행 예정

- 기능성 영향인자 분석: 해조류 성장 및 발달 인자(수온, 염분, DO, TN, TP, pH 등)들과 같이 해조류의 생육발달조건에 필요한 해양환경인자의 실시간 변동량을 조사하여 대상 해조류의 최적의 생육조건을 모니터링하기 위한 기술의 개념설계

- 안정성 영향인자 분석: 양식장 시설물/구조물의 파괴 및 이동 경로 파악 인자(해양파랑, 조류 등)

㉠ 시설물의 안정성에 영향을 미치는 외력환경에 대해서 해양환경특성이 가장 크게 변할 수 있는 지점을 중심으로 삼각형의 시스템망을 구축

㉡ 구축된 시스템망을 바탕으로 기능성 인자의 공간적 변화에 대한 속도, 방향, 환경변화 주기 평가

- 모니터링 관측장비 설치 및 원시 데이터 획득 기술 개발: 계측된 자료의 실시간 무선 송수신 시스템 및 서버 구축 및 저장 자료의 Database 구축을 위한 기반연구

(2) 유비쿼터스형 양식장 실시간 감시 기술개발 기반연구/개념설계

(가) 외해 양식시설 환경 모니터링 설계 개념 정립

- 해중/해상 해양환경 인자 모니터링 자동화 기법: 전송된 원시자료의 자동적 분석 및 Plot를 위한 최적 Tool의 개념설계
- 원시 데이터의 육상 전송을 위한 해상관측 시스템 구축

㉠ 해상 계측 자료의 1차적 수집을 위한 육상 관측소 설치

㉡ 육상관측소의 유선 및 무선 메인서버 자료 전송 기술 개발

㉢ 기기 오작동에 따른 자료 미전송시의 경고 호출 시스템

- 원시 데이터 통합관리 DB 구축 및 사용자 인터페이스 최적화

㉠ 대용량 원시 데이터의 효율적 관리를 위한 DB 구축

㉡ 사용자 중심의 인터페이스 최적화로 GUI 방식의 적용성 평가

㉢ 취득 자료의 다른 소프트웨어와의 연동을 위한 기반 연구

(나) 유비쿼터스형 실시간 감시 기술 기반 연구

- 시스템의 구성요소 별 개념 설계 및 전체시스템 구성 개념설계
- 양식시설에 부합하는 원시 데이터의 특성 및 구조 분석
- 양식시설의 이동, 도난, 파손, 보안 및 원료 이송시스템의 원활한 기능 유지관리를 위한 실시간 감시 기술 개념 설계: 일반적인 CCTV 기법을 확장하여 고해상도 실시간 비디오 모니터링 시스템 구축

2. 양식장 해양환경 인자별 모니터링 개발 기반연구

해조류의 외해 대량생산 기술 개발로의 발상전환에 따른 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발은 크게 안정성 및 기능성, 경제성 확보가 담보되어야 하며 이를 목적으로 이루어져야 한다. 이를 위한 단계적 요소기술의 핵심적인 내용을 체계화하면 다음 표와 같이 나타낼 수 있다.

[표 3-3-1] 외해 대량양식 시설 환경모니터링의 기술체계

기본 설계 개념	외력조건	성능조건	최종 목적
Hardware(구조물)	외부조건 구조물하중설계 기초설계 계류시스템	외부조건 평가	안정성 확보
Software(모니터링 시스템)	안전/보호시스템	전원시스템 센서조립/설치 제어시스템 유지보수관리	기능성 확보
설계/시설비	비용최소화	설계최적화	경제성 확보

상술한 기술체계도를 바탕으로 각 요소에 대해 각각의 목적을 달성하기 위해 본 연구의 1차년도 연구추진 과정에서 현실적인 조건하에서 수행된 연구방법은 다음과 같다.

- 기존 자료 수집을 통한 해양환경인자(요소) 모니터링 현황 파악
- 전문가 활용을 통한 외해 양식환경 추세파악 및 선진 기술 습득
- 우리나라 실정에 알맞은 외해 양식환경 모니터링 방향설정
- 안정성 및 기능성이 확보된 대량생산 pilot 설치 및 시험분석 방안 모색

아울러 본 연구에서 제안하는 외해 해조류 대량양식 시설물의 해양환경 모니터링 시스템은 근본적으로 저탄소 친환경적 신재생 에너지로서의 해양 에너지(파력, 조류, 풍력, 태양광, 매스 하이드레이트)를 이용·개발하기 위한 개념을 포괄한다. 이러한 측면에서 구축하고자 하는 시스템은 연안/해양/조선/환경/생태/해양안전 분야의 첨단 연구인프라 구축을 위한 첨단융합형(해안항만/해양조선/해양환경생태/수산공학/해양안전공학) 시스템을 기본 설계 개념으로 설정할 수 있다.

여기서 구축하고자 하는 첨단융합형 시스템은 ㉠ 범국가적 범용성, ㉡ 관측시스템의 독립 공간의 구축, ㉢ 필수적인 실험장치의 설정, ㉣ 최소한의 요구조건 제시, ㉤ 해양환경인자의 다양성 및 신뢰성, ㉥ 친환경적 기반의 시설, ㉦ 대학, 연구기관, 산업체, 민간인 공유형 클러스터 구성 및 협력체계 창조에 초점을 두어야 한다.

가. 해양환경인자의 모니터링(계측·채취) 요소기술 현황

(1) 해양환경인자 모니터링 요소

현재의 해양과학 조사기술 수준에서 해양관측장비를 이용한 해양환경인자(요소)는 [표 3-3-2]와 같이 구분할 수 있다.

수압은 수심이 10 m씩 증가 할 때 마다 1기압 (약 105 hPa)씩 증가한다. 따라서 10,000 m심해에서는 약 1,000 m기압이 되며, 해수의 체적은 표층에 비하여 5%정도 감소한다. 해수표면수온은 위도, 계절에 따라서 크게 변동하여 0° C에서 30° C범위로 분포하며, 위도 30도 내지 50도에서 고온과 저온의 경계가 있다. 평균표면수온은 북반구에서 19° C이다. 수면아래 수백 m의 범위에는 수온약층이라고 불리는 온도가 급격히 변하는 층이 있다. 심층은 계절과 상관없이 1내지 5° C정도의 일정한 수온을 갖는다.

해양의 염분은 3.3% 내지 3.8%의 범위이다. 일반적으로 열대지역에서 염분이 높고, 고위도 지역에서는 낮다. 예를 들면, 태평양 열대지방에서는 3.6%이고, 북극해에서는 3.3%정도이다. 내해에서는 홍해의 경우 4.0 내지 4.3%로 높은 곳도 있다. 일반적으로 연안역은 하천수의 유입에 의하여 대양보다 염분도가 낮다. 표층의 염분은 환경에 따라 변하지만, 심층에서는 3.40내지 3.47%로 일정하다.

해수중에서 음파의 흡수는 주로 점성에 의하므로 주파수의 2승에 비례하여 증가한다. 저주파에서는 이온 등에 의하여 음파흡수가 증가하나, 낮은 주파수의 음파가 고주파보다 멀리까지 운반된다. 음속은 수온이나 밀도에 의하여 크게 변하므로 해중에서 음은 직진하지 않는다. 그러므로 음이 도달할 수 없는 Shadow Zone이 있고, 장거리까지 음의 전파가 용이한 SOFAR Channel도 있다.

전자파는 해수의 전도성으로 인하여 감쇄가 크며, 감쇄량은 주파수의 평방근에 비례하므로 10KHz이하의 저주파는 전달이 가능하다. 전자파의 주파수는 매우 높아서 빛의 영역에 들어가면, 특정의 파장대를 갖는 빛은 해수중에 전달되기도 한다. 수중에서 감쇄가 가장 적은 빛은 파장 0.45μm의 Blue-Green(B-G)광이며, 광영역의 흡수는 해수의 오염도에 크게 좌우된다.

(2) 인자(요소) 획득을 위한 해양관측장비

상술한 해양환경인자의 모니터링(획득/관측/계측)을 위해서 활용되어지는 해양관측장비로는 해양장비의 사용목적에 따라서 조합·구성되어질 수 있으며 그 현황을 요약하면 [표 3-3-3]과 같이 구분할 수 있다.

계측이란 “대상으로부터 필요한 정보를 추출하는 행위”로 정의될 수 있다. 여기서 대상이 되는 해양은 계측목적에 따라서 다양한 형태가 된다. 즉 광역계측의 경우는 표층에서 심층까지 3차원이 되고, 시간적인 스케일은 한순간 또는 몇 수십 년의 기간도 된다.

계측방법은 광역동시계측, 장기연속계측, 고밀도 정밀계측으로 구분된다. 계측시스템도 이에 따라서 변한다. 이하의 해상, 지형의 계측, 해양자원조사, 해수, 생물의 계측으로 구분하였다.

해상상태 계측은 파랑, 조석, 高潮, 진파, 해류, 저층류, 내부파가 대상이다. 해양장비들을 탑재하고 계측자에 의하여 계측하는 것은 주로 해양조사선으로 한다. 그러나 해양조사선으로는 관측범위가 한계가 있으므로, 광역계측은 다수의 부이를 배치하는 방식이 시스템적 관점에서 지향된다. 부이로 무인장기관측이 가능하며, 계류식과 표류식이 있다. 계측은 센서의 성능에 좌우되고, 데이터는 자기기록식 외에 즉시 통신하는 방식이 증가하고 있다. 해면계측에 한정된 경우에 항공기, 기구, 인공위성에 의한 원격광역관측이 가능하다. 항공기로부터 Probe의 투하에 의한 해중계측이 수행된다.

연안해역에서는 파랑이나 조석의 관측이 수행되고 있고, 무인화 자동화가 진행되고 있다. 계측데이터는 통신에 의하여 육상기지로 전송된다. 계측기기에는 직접계측형, 해저설치형, 해면계류형 및 레이다형이 있다.

흐름의 관측에는 직접측정형과 음향계측형이 있다. 특히 해양음향 Tomography, SOFAR Float의 Tomography, 초음파 Doppler Profiler가 있다. 음향Tomography와 SOFAR Float는 해양순환류의 관측에 유효하다. 초음파 Doppler Profiler는 여러층으로 분할하여 한 번에 유향유속을 측정할 수 있고 해저설치에 설치하거나 선박에 설치한다.

해저지형을 조사하는 목적은 지구과학의 학술연구, 항해안전을 위한 수로측량, 해도작성, 해양구조물의 건설이나 파이프라인의 부설 등을 위한 사전조사, 어장조사 등으로 매우 광범위하다. 지형계측기술의 목표는 정밀도가 높은 등고선도의 작성에 있다.

해저지형의 계측에 육상지형계측의 응용을 해수 때문에 불가능하다. 따라서 음파를 이용하여 해저지형의 계측을 실시한다. 음향지형계측의 음향기술은 측심과 Side Scaning SONAR로 대별된다.

해저광물자원 중 가장 많은 것이 해저석유와 가스이다. 미국 스텐포드 연구소는 2000년에는 해양에서의 생산량이 지구전체 생산량 중에서 석유 34%, 가스 29%에 달할 것으로 기술하고 있다. 이 탐사에는 지각이 가진 물리화학적인 제반 특성을 계측을 계측할 필요가 있으며, 음파를 이용한 방법이 유효하다.

석유 이외의 광물로는 망간단괴, 열수광상, 코발트리치크러스트가 있다. 이들의 계측에는 석유탐사기술과는 달리 해서지형의 조사나 해수의 분석 등에 새로운 요구가 추가된다. 이와 같은 특수해저면의 계측에 잠수정, 로봇, 예항식의 관측시스템이 필요하다.

[표 3-3-2] 해양환경인자 계측·채취 요소의 분류

요소 항목	현 재		장 래	
	측정범위	정 도	측정범위	정 도
해 양 물 리				
수 심	0~6,000m	±0.15%	0~6,000m	±0.01%
수 온	-2~40°C	±0.02°C	-2~40°C	±0.001°C
염 분	0~38ppt	±0.05ppt	0~38ppt	±0.003ppt
유 향	0~360°	±3°	0~360°	±2°
수평유속	0.5~300cm/s	±2.5cm/s	0~300cm/s	±0.5cm/s
연직유속	-	-	0~1cm/s	0.001cm/s
전기전도율	0~70 mS/cm	±0.02S/m	0~70 mS/cm	±0.001mS/m
탁 도	0~1,000ppm	±1%		
조 도	1~12,000lm/m^2	±<2%	1~12,000lm/m^2	±<2%
음 속	1,400~1,700m/s	±0.2m/s	1,400~1,700m/s	±0.02m/s
잡 음	-15~-80dB	±1dB	-15~-80dB	±1dB
해상 · 기상				
조 석	0~20m	±2cm	0~20m	±2cm
파 고	0~30m	±4%	0~30m	±1%
파 방 위	0~360°	±10°	0~360°	±1%
파 주 기	1~40s	±0.1s	1~40s	±0.1s
해면온도	-2~40°C	±0.1°C		
태양복사	0~2kW/m^2	±0.03kW/m^2	0~2kW/m^2	±0.001kW/m^2
기 온	-50~50°C	±0.1°C	-50~50°C	±0.1°C
습 도	0~100%	±5%	0~100%	±2%
기 압	850~1,050mbar	±0.1mbar	850~1,050mbar	±0.11mbar
풍 향	0~360°	±1°	0~360°	±1°
풍 속	0~80m/s	±0.15m/s	0~80m/s	±0.005m/s
우 량	0~25cm/h	±0.01cm/h		
해 양 화 학				
pH	0~14pH	±0.1pH	0~14pH	±0.02pH
DO	0~15ml/l	±0.02ml/l	0~15ml/l	±0.01ml/l
염 소 량	0~20ppt	±0.01ppt	0~20ppt	±0.01ppt
초 산 염	0.05~45$\mu g-at/l$	±3%	0~45$\mu g-at/l$	±1%
아초산염	0.01~2.5$\mu g-at/l$	±3%	0~2.5$\mu g-at/l$	±1%
규 산 염	0.1~140$\mu g-at/l$	±3%	0~140$\mu g-at/l$	±1%
인 산 염	0.006~5.0	±4%	0~5.0$\mu g-at/l$	±1%
탄화수소	$\mu g-at/l$	±5%	0~100mg/l	±1%
	0~100mg/l			
해 양 생 물				
클로로필	0~0.02mg/m^3	±0.26μg		
어체반사계수	0~100dB	±1dB	0~100dB	±1dB
	2~350kHz	±1kHz	2~350kHz	±1kHz
동물소음	-6~60dB	±1dB	-6~60dB	±1dB
	20Hz~200kHz	±1Hz, kHz	20Hz~200kHz	±1Hz, kHz
어군(화상)				

[표 3-3-3] 해양환경인자(요소) 계측·채취 장비 분류

작업	대상	계측요소	요소기술
계측	전반	가시현상	목측법,수중사진법,입체사진법,수중 TV,음향촬상장치
	해상상태	유향유속	Serbo Near Slot유속계, 초음파식 유향유속계, 전자식유향유속계, 열선식유향유속계, 해류병법, Parachute Drag법, 중립브이법, HF레이다법
		파향파고	수압식파랑계, 수위식파랑계, 초음파식파고계, 가속도식파고계, 파압계, 레이저이용법
		해면고도	검호정호, 점조주, 초음파식수위계, 수압식점조기, 심해용검조기, 장파계
		심도수온	수압식온도계, 음향측심기, 전도측심기(IES), 봉상온도계, 전도온도계, 적외방사온도계, 서미스터체인, BT, XBT
	해수	염도	S(CTD)시스템, XSTD시스템
		용존 부유물	수중미량성분 Samler, 해양탄화수소분석시스템, 자외선분광광도계(UV계), 용존산소계, pH계
		투명도판	투명도판
		탁도	광속투과율계(탁도계), 산란광도계
		조도	수중조도계, 수중휘도계, 광전자계수
		음속	싱어라운드음속계, 음향토모그라피
	물고기	크기	어탐, 어업용소나, CTFM소나, 계량용어탐, Telesounder
		행동량	Bio Telemetry
	지형	형상	사이드스캔소나, Multi Chanel Beam소나, 다이버측량법
	지각	구조	다주파음탐기, Sub Bottom Profiler, 다중수신음탐기
		중력	해상중력계, 해저중력계
		자력	해상자력계, 해저자력계
		진동	해저지진계, 해저경사계
		열유량	해저열유량계
		토질지질	베인전단시험기, 코인관입시험기, ScrewPoint관입시험기
	광물	형상분포	중력탐사법, 자기탐사법, 음파탐사법, 지진탐사법
	해구	마모열화	비파괴검사법
	음원	해중잡음	수중음압계
채취	해수	수질	채수기
		현탁물질	휠터, Sediment Trap
	생물	부유생물	플랑크톤네트, 플랑크톤채집기, 여수계
		유영생물	어구
		저질생물	주상채니기, Grab채니기, Trench채니기, 굴삭식채광기

수산자원도 인류의 양식으로 주요한 자원이다. 이에 대한 계측은 어선어업용, 증식 등의 인위적 어업용, 조사연구용이 있다.

해수의 수질계측에는 염분, 전기전도도 등도 포함되어 있으나 수온이나 수압과 밀접한 관계가 있으므로 동시에 계측하는 경우가 많다. 수질에 대한 것으로는 해수중에서 빛의 투과성 측정과 화학성분분석이 중요한 계측이다. 화학성분분석은 채수가 필요하므로 채수를 필요로 하지 않는 분석기술의 개발이 요구된다.

해중의 빛은 생물의 존재에 큰 영향을 주므로 해양오염 감시상 중요하다. 장기관측의 경우에 생물부착의 문제가 발생되나 효과적인 방지법이 없다. 광센서는 표면부근의 일정한 수심에 설치되므로 파랑의 영향이 크다. 따라서 부이의 계류기술과 상반되는 계측기술이다. 따라서 인공위성에 의한 리모트센싱기술도 유효하다.

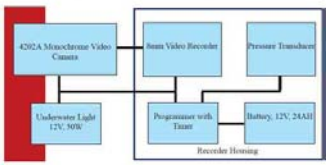
2000년대 이후 해양, 기상분야에 대한 해양과학기술 및 IT기술의 발달로 현장의 데이터 또한 고급화되어가고 있는 추세이다. 우리나라 한국해양자료센터(Korea Oceanographic Data Center, KODC)에서 정하는 해양과학 조사자료의 분야별 세부항목을 정리하면 [표 3-3-4]와 같다. 따라서 상술한 해조류 대량양식 환경모니터링에 필요한 장비의 도입은 해조류의 생장 환경인자 파악에 필요한 관측 항목을 중심으로 검토되어야할 부분이라 할 수 있다.

상술한 바와 같이 해수표면 온도(Sea surface temperature), 부유물질(Suspended solids), 수심(Bathymetry), 해저경사(Slope), 수온, 염분, pH, COD, 파고 등을 모니터링하기 위한 해양조사 장비 중에서 대표적인 관측기기를 나열하면 [표 3-3-5]와 같다.

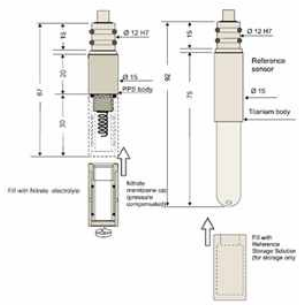
[표 3-3-4] 해양과학조사자료의 관리범위(한국해양자료센터)

분야	항목
물리해양	수온, 염분, 해류, 조류, 조석, 파랑, 해면변화, 해수광학특성 및 수중음향
화학해양	수소이온농도, 용존산소, BOD, COD, 용존 영양염류, SS, 미량금속 및 무기물, 방사성 핵종, 유기화합물, 석유 및 관련 화학물질, 유기염소계 화합물, 용존기체, 핵산 추출물, 기타 독성 및 오염물질
생물해양	기초생산력, 클로로필 및 색소류, 해양미생물, 플랑크톤, 저서생물, 부착생물, 난치자어, 유영동물, 조류, 해양파충류, 해양포유류
지질해양 및 지구물리	수심 및 해저지형, 지자기 및 고지자기, 중력, 지진 및 탄성파 탐사, 해저면영상, 층서퇴적, 시추자료 및 해저표층 시료분석, 부유퇴적물, 해안선 정보
기상해양	기온, 기압, 풍속, 풍향, 풍향, 강수량, 일사량, 운량, 시정, 습도, 대기조성물질
기타	해양과학연구에 필요하다고 판단되는 항목

[표 3-3-5] 해조류 해양환경모니터링을 위한 주요 해양조사장비 현황

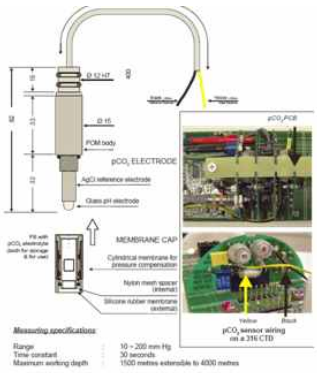
분야	항목
해양파랑	 **WAVE RADAR** 용도 해양관측 / 설치위치 Roof SE, Corner 관측요소 파고, 주기, 파향, 스펙트럼, 표층유속 / Description 제조사 MIROS / 모델명 SM-001 사용전원 AC 110~230 V / 소비전력
해양수질	 **수질측정계** 용도 해양관측 / 설치위치 Wheel 관측요소 / Description 수심, 수온, 염분, DO, pH, 탁도, 염록 / Multiparameter Monitoring 제조사 / 모델명 YSI 6600 Sonde
클로로필	 **클로로필 형광 측정기** 용도 해양관측 / 설치위치 Wheel 관측요소 / Description Chlorophyll Fluorometer 제조사 Seapoint Sensors, Inc. / 모델명 Chlorophyll Fluorometer 사용전원 8~20 VDC, 15mA avg., 27mA pk. / 소비전력
수온염분	 **CTD** 용도 해양관측 / 설치위치 휴대단말 관측요소 수온, 염분 / Description 비실시간 제조사 / 모델명 사용전원 220VAC / 소비전력
풍향풍속	 **풍향풍속계** 용도 기상관측 / 설치위치 기상타워2Ea, 등대1Ea 관측요소 풍향, 풍속 / Description Wind monitor-MA 제조사 RM YOUNG / 모델명 05106 사용전원 DC 15 V / 소비전력 5mA
온도습도	 **온도습도계** 용도 기상관측 / 설치위치 기상타워 관측요소 기온, 습도 / Description Temp & humidity sensor 제조사 VAISALA / 모델명 HMP45A 사용전원 DC 24 V / 소비전력 4mA
Video (CCTV)	  **Self-Recording Video System** -Number of Pixels: 768(H) x 494(W) -Lens: Auto-Iris, 6mm, F1.4 -Field of View: 56 degrees horizontal, 43 degrees vertical -Video Output: Composite Video, -Resolution (Horizontal): better than 500 TVL (center) -Minimum Illumination: better than 0.1 lux scene -S/N Ratio: 50dB(AGC Off) -Power Supply: DC 12V at 100 mA -Operating Temperature: -10C to +40C -Weight: 3.25 lbs in air, 1.25 lbs in water -Material: Aluminum, anodized -Depth Rating: 1000 meters

[표 3-3-5] 계속



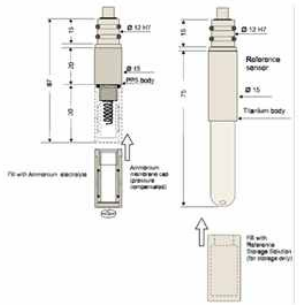
NITRATE SENSOR

- 측정범위 :
  0 to 100 mg/l-N



pCO_2 SENSOR

- 측정범위 :
  10~200 mmHg
- Time Constant :
  30sec
- 최대작동수심 :
  1500m(4000m확장가능)



AMMONIUM SENSOR

- 측정범위 :
  0 to 100 mg/l-N

Fluorometer

- 측정범위 :
  10 cm/sec (1/5 knot) ~ 7.9 meters/sec (15 knots)

NITRATE SENSOR	
Accuracy:	± 2 µM (0.028 mg/l) or ± 10% of reading, whichever is greater
Detection range:	0.5 to 2000 µM *(0.007 to 28 mg/l-N)
Thermal Compensation:	0 to 40°C
Salinity Compensation:	0 to 40 psu
Depth rating:	1000 m
Length:	24 inches (608 mm)
Diameter:	4.5 inches (114 mm)
Weight:	11.0 lbs in air (5.0 kg) 1.5 lbs in water (0.7 kg)
Housing material:	Anodized Aluminum
Operating temperature:	0 to 40 °C

Water in-situ analyzer

- NH_3: Berthelot reaction
- PO_4: Molibdate, Ascorbic acid
- NO_3+NO_2: Cd reduction NED, SAA
- NO_2: NED, SAA.

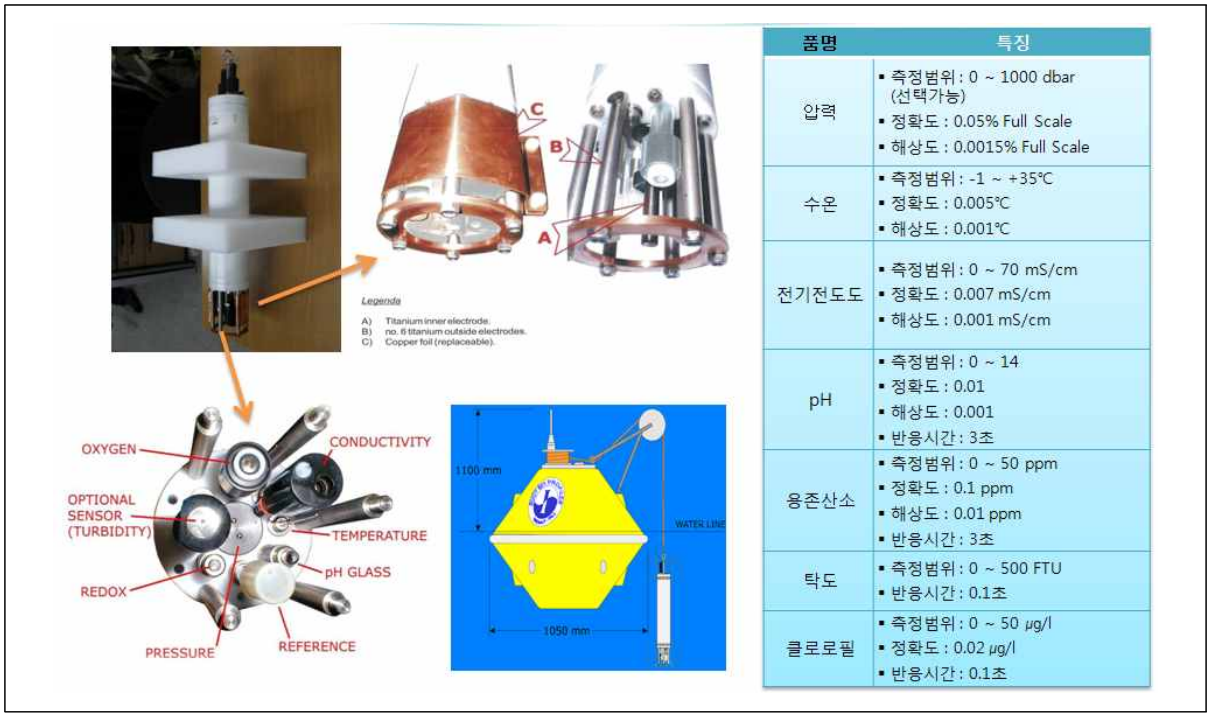
Deep-sea Probe Analyzer

- ammonia (NH_3-N)
- orthophosphate (PO_4-P)
- nitrate + nitrite (NO_3+NO_2)-N
- nitrite (NO_2-N).

Water in-situ analyzer

- ammonia (N-NH_3)
- orthophosphate (P-PO_4)
- nitrate + nitrite N-(NO_3+NO_2)
- nitrite (N-NO_2).

[표 3-3-5] 계속



품명	특징
압력	▪ 측정범위 : 0 ~ 1000 dbar (선택가능) ▪ 정확도 : 0.05% Full Scale ▪ 해상도 : 0.0015% Full Scale
수온	▪ 측정범위 : -1 ~ +35℃ ▪ 정확도 : 0.005℃ ▪ 해상도 : 0.001℃
전기전도도	▪ 측정범위 : 0 ~ 70 mS/cm ▪ 정확도 : 0.007 mS/cm ▪ 해상도 : 0.001 mS/cm
pH	▪ 측정범위 : 0 ~ 14 ▪ 정확도 : 0.01 ▪ 해상도 : 0.001 ▪ 반응시간 : 3초
용존산소	▪ 측정범위 : 0 ~ 50 ppm ▪ 정확도 : 0.1 ppm ▪ 해상도 : 0.01 ppm ▪ 반응시간 : 3초
탁도	▪ 측정범위 : 0 ~ 500 FTU ▪ 반응시간 : 0.1초
클로로필	▪ 측정범위 : 0 ~ 50 μg/l ▪ 정확도 : 0.02 μg/l ▪ 반응시간 : 0.1초

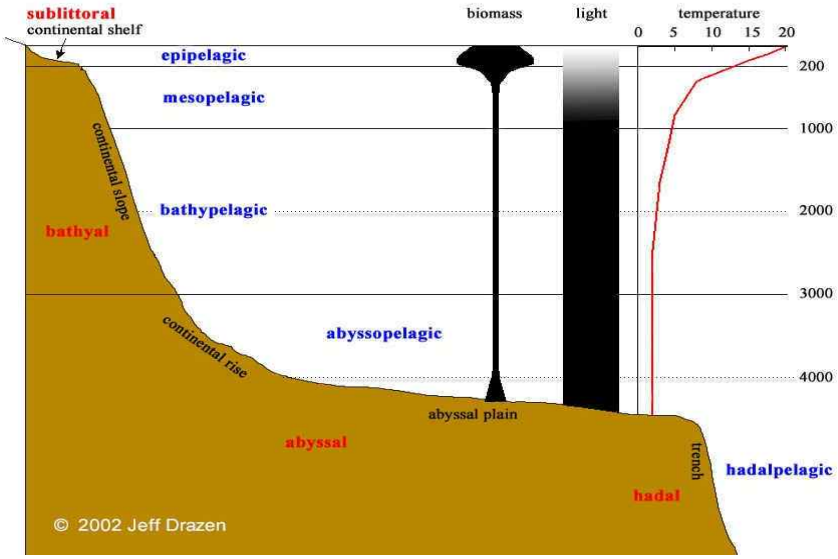
(3) 해양환경의 시공간 구분

일반적으로 해양은 수평방향으로는 연안해역과 대향해역으로 구별하고, 연직방향으로는 표층, 중심층 및 해저로 구분한다. 연안해역은 육지와 접한 천해역이고, 해저의 수심이 약 200 m이하를 대륙붕이라 한다[그림 3-3-2]. 대륙붕은 생물이 가장 풍부한 장소이고 또한 육지와 가까워서 해양개발이 가장 활발한 곳이다. 대양의 표층은 대기와 접하여서 대기에 큰 영향을 준다. 중심층은 태양광이 미치지 않는 곳이므로 온도도 일정하다. 해저면 및 퇴적층에는 풍부한 광물자원이 있다.

해수의 움직임은 표층의 파도, 달과 해의 인력에 의한 조력, 지구의 움직임에 의한 해류, 연직방향의 흐름(용승류, 침강류), 밀도차에 의한 내부파 등이 있다. 예를 들면, 주기 50일, 반경 100Km정도의 중규모 와라 불리는 움직임 등 대중소규모의 복잡한 움직임이 있다. 심층의 해수도 예외가 아니어서 지구전체가 수평방향의 성분을 가지고 움직이고 있다. [표 3-3-6]은 해양현상을 시간척도로 분류한 예이며, [그림 3-3-3]은 우리나라 연안 해양수온은 월 평균 변화 특성을 나타낸 것이다. 즉, 해양환경인자인 해양수온도 시간단위로 볼 때 계절변동을 보이고 있으며 이에 따라서 해양환경 변화에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 제안하는 외해 해조류 대량양식 시설물의 해양환경 모니터링 시스템은 상술한 바와 같이 시·공간상으로 많은 제약조건을 가지며 [표 3-3-2]인 해양 계

측·채취 요소에서 제시된 내용과 같이 극히 제한된 조건에서 현상이 발생하고 이를 모니터링(계측·채취)할 수 밖에 없는 것이 현재 과학기술의 현실(한계)이다.



[그림 3-3-2] 해양생물환경의 관점에서 바라본 해양의 구분.

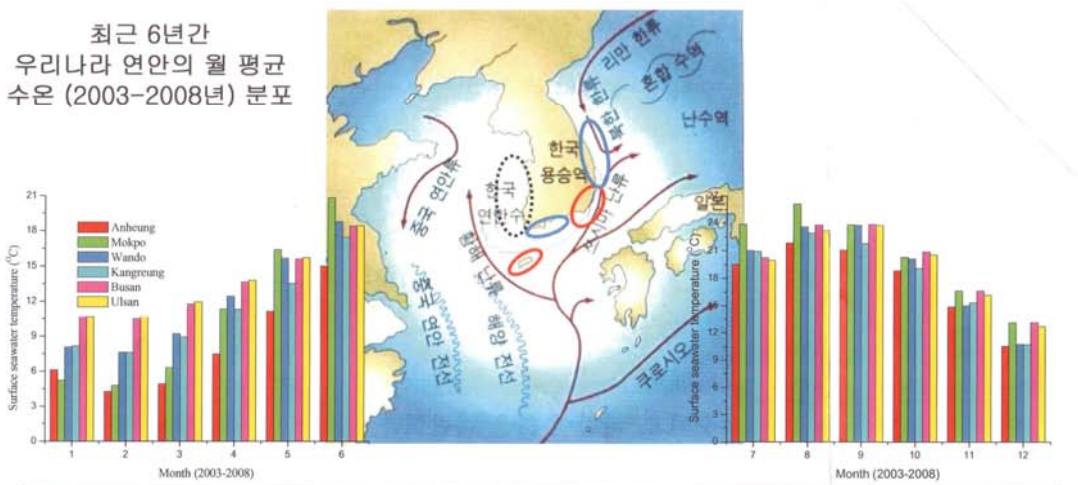
[표 3-3-6] 시간단위에 의한 해양현상 분류

단위	해수의 종류
초	풍파
분	항, 만의 고유주기,
시	내부파
일	조석, 관성진동, 내부 조석
10일	해수변동, 중규모 와동운동, 해분 고유진동
년	계절변동, 중심층의 형성
10년	대규모 수괴, 엘리뇨
100년	심층수의 대순환
무한대	고(古)해양학

이에 본 연구에서는 해양환경 모니터링 시스템을 설계함에 있어서 주요 해양환경인자를 해양물리, 해상·기상, 해양화학, 해양생물의 4가지 요소로서 크게 분류하고 [표 3-3-2]의 해양 계측·채취 요소가 가지는 해조류 생산에 미치는 영향정도를 높음, 보통, 낮음의 구분을 통해 정량적인 수치를 부여함으로써 해양환경인자를 군집화 함으로써 공

통 인자를 중심으로 해양관측시스템의 센서 종류 및 해석방법의 기초자료로, 현장 모니터링 대상 인자로 선정하고자 하였다. 또한 선정된 결과를 바탕으로 해양환경 모니터링 시스템의 특징을 대분류화시키고 이를 바탕으로 주요 해양환경인자의 관측시스템이 최적화된 시설물을 설계하고자 하였다.

그 결과로서 [표 3-3-7]은 Matrix 방법을 이용한 해양환경인자 요소기술 도출 및 모니터링 인자 선정에 따른 조사 장법 결정을 위한 기초자료로서 주요 모니터링 인자를 분류하여 나타낸 것이다. 결과적으로 영향정도 분석을 통해서 획득되어진 주요 인자로서는 수심, 수온, 염분, 유향·유속, 조석, 파랑, 기온, 기압, 바람, 태양광, pH, DO, 클로로필로 정리될 수 있다. 이는 해양환경 모니터링 시스템이 관측해야할 실험인자는 크게 해양물리인자와 해양기상인자로 구분됨을 나타낸다.



Station \ Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gangreung	8.17	7.59	8.91	11.32	13.52	17.42	20.92	22.92	21.77	19.07	15.35	10.73
Ulsan	10.63	10.78	11.95	13.79	15.71	18.42	19.94	23.16	23.75	20.56	16.18	12.71
Wando	8.07	7.63	9.22	12.43	15.66	18.76	21.03	23.58	23.77	20.12	15.02	10.74
Busan	10.78	10.49	11.77	13.64	15.60	18.39	20.23	23.78	23.85	20.89	16.63	13.12
Mokpo	5.23	4.78	6.30	11.35	16.39	2085	23.88	26.16	23.82	20.28	14.53	9.40
Anheung	6.13	4.26	4.92	7.48	11.17	15.0	19.52	21.83	21.08	18.84	14.88	10.54
Seongsanpo	12.7	12.02	12.80	14.83	16.84	19.83	22.76	25.54	23.53	21.08	17.80	14.48

[그림 3-3-3] 우리나라 연안 해양수온 변화 특성.

(4) 해조류 양식 환경 모니터링 요인 설정

해조류 양식에 요구되는 대상생물에 적합한 해수의 조건 범위의 환경요인으로 전체가 구성되어야 하며, 이들에 대한 적합성은 항상성 요인을 주체로 그에 따른 변동요인에 대하여 생물의 생존/성장에 깊이 관여하는 항목으로 판단된다.

[표 3-3-7] Matrix 방법을 이용한 주요 모니터링 인자 영향정도 분석

주요재현 실험인자	영향공간			해양상태						해양 동물		해양 식물
	해상	해중	해저	유향유속	파향파고	해면고도	심도수온	염도	용존부유물	크기	행동량	
해양물리												
수심				○	○		○	△	△	×	×	×
수온	○	○	○	△	×	△		○	×	○	○	○
염분	○	△	△	×	×	×	○		×	○	○	○
유향	○	○	○		△	×	×	×	×	×	×	×
수평유속	○	△	×		△	△	×	×	△	○	○	○
연직유속	○	△	×		×	×	×	×	×	△	△	△
전기전도율	○	△	△	×	×	×	△	△	×	△	△	△
탁도	○	△		×	×	×	×	×	○	△	△	△
조도	○	○	○	△	△	△	×	×	×	△	△	△
음속	△	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×	×
잡음	△	△	△	×	×	×	×	×	×	○	○	○
해상・기상												
조석	○	○	×	○	△	○	△	△	×	×	×	×
파고	○	△	×	△		○	×	×	×	△	△	△
파방위	○	△	×	△		△	×	×	×	×	×	×
파주기	○	△	×	×		△	×	×	×	×	×	×
해면온도	○	○	○	△	×	△	×	△	×	△	△	△
태양복사(태양광)	○	○	○	△	×	△	×	△	×	×	×	×
기온	○	△	×	△	×	×	×	△	×	○	○	○
습도	○	×	×	×	×	×	×	△	×	×	×	×
기압	○	×	×	○	△	○	△	×	×	△	△	△
풍향	○	×	×	△	○	△	△	×	×	×	×	×
풍속	○	×	×	△	○	△	×	×	×	×	×	×
우량	○	×	×	×	×	×	△	○	○	×	×	×
해양화학												
pH	○	×	×							○	○	○
DO	○	×	×							○	○	○
염소량	○	○	○							×	×	×
초산염	○	×	×							×	×	×
아초산염	○	×	×							×	×	×
규산염	○	×	×							×	×	○
인산염	○	×	×							△	△	○
탄화수소	○	×	×							×	×	×
해양생물												
클로로필	○	×	×							×	×	○
어체반사계수	△	△	×									
동물소음	△	△	×							×	×	×
어군(화상)												×

※ 영향정도에 따라서 ○(큼, 높음, 빠름) △(보통) ×(작음, 낮음, 느림)으로 표기함, 연관성을 결정할 수 없는 경우 무표시함.

양식생물은 때때로 환경에 대한 순화를 보이지만, 생산의 기초가 되는 성장에 대한 영향정도는 경제성이 깊이 관여하기 때문에 조정성에 의해 각각의 적합범위가 결정된다. 따라서 염분농도 등과 같은 항상성이 강한 요인보다 수온, 용존산소, 영양염류 및 유해물질 등과 같은 변동성이 강한 요인을 관리 및 모니터링할 필요가 있다. 따라서 본 시스템은 환경요인을 충분히 고려하여 개발할 필요가 있다. 즉, 다음과 같은 주요 환경요인을 고려하여 시스템을 개발할 필요가 있다.

- 용존산소의 공급은 제대로 이루어지고 있는가?
- 수온 및 염분변화에 대처할 수 있는가?
- 영양염류의 변동에 대처할 수 있는가?
- 저질의 유기물변동은 어느 정도인가?
- 환경의 동태는 충분히 파악되고 있는가?
- 인위적 요인에 의한 환경오염은 없는가?
- 자정작용의 정도는 어떠한가?
- 해조류 생산에 관련된 항목의 변화는 어떠한가?
- 해조류 양식장의 관리는 적절하게 이루어지고 있는가?
- 불의의 사고에 대한 대책은 마련되어 있는가?

이상과 같은 해양환경 요인을 고려하여 향후 해조류 양식 환경 모니터링을 위한 관측 요소들을 개략적으로 선정하면 ① 유속, ② 수온, ③ pH, ④ 부유물질, ⑤ 병원성 미생물, ⑥ 용존산소 등과 같다. 또한 인위적인 해상활동 환경요인을 고려하여 향후 해조류 양식 환경 모니터링을 위한 관측 요소들을 개략적으로 선정하면 ① 양식공간의 이동 등, ② 해조류의 수용밀도 등과 같다.

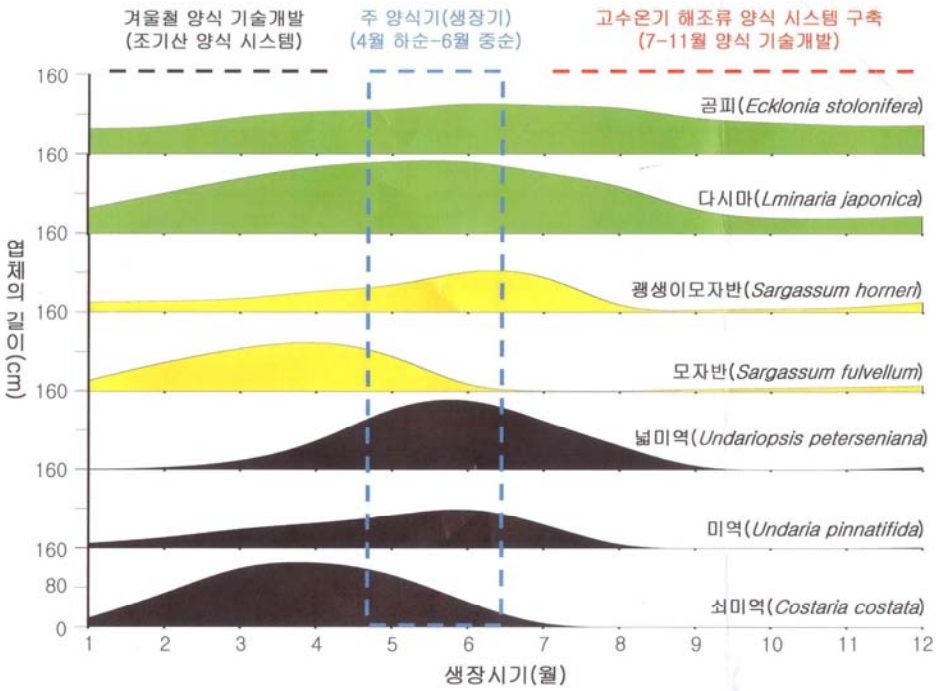
(5) 해조류의 해양환경 변동 영향 요인 및 범위

미역, 다시마 등의 해조류는 난류해역의 외양이나 외양에 가까운 암초 또는 자갈 위에 부착하여 살고 있으며 우리나라에서는 남쪽의 제주도 연안에서 북쪽의 황해도 두만강에 이르는 전 연안에 분포하며 특히 제주 강원 경북 경남 등지의 연안에서 생산되고 있다.

일반적으로 미역은 전복이 살고 있는 곳에 살고 있으므로 전복의 서식분포와 같다. 서식수심은 대체로 간조선 이하로부터 5-6m의 수심에서 많이 살고 수심 10-12m의 깊은 곳에서도 살고 있다. 산지 및 서식환경에 따라서 미역의 서식수심이 차이가 있으며 보통 북쪽일수록 얕은 곳에 살고 남쪽으로 갈수록 점차 깊은 곳에 살고 있다. 따라서 수온과 미역분포와의 관계를 보면 미역의 분포 제한요인이 되는 월 평균 수온범위는 5-25℃로 알려져 있으며 연 평균 수온은 10-20℃ 범위로 제한을 받고 있다[5].

하지만 상술한 해조류의 생장에 적합한 환경을 조성하고 이에 대한 환경모니터링을 수행하기 위해서는 이에 부합되는 관측기기의 도입이 요구되고 그 성능도 사전에 검토될 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 기존에 연구된 자료를 바탕으로 해조류의 성장에 요구되는 수질환경 인자를 선별하고 그에 대한 최적 성장 범위를 확인하고자 하였다. 그 결과를 정리한 자료는 [그림 3-3-4] 및 [그림 3-3-5]와 같다. 즉, 해조류(미역)의 성장에 영향을 미치는 파라메터로는 일본 Hokkaido 지역의 경우 해수표면 온도(Sea surface temperature), 부유물질(Suspended solids), 수심(Bathymetry), 해저경사(Slope) 등이며, 타 연구 결과에 따르면 수온, 염분, pH, COD, 파고 등으로 나타났다. 따라서 향후 해조류 해양환경 모니터링에 요구되는 해양환경 관측항목은 상술한 부분들이 모두 고려되는 시스템으로 설계에 반영되어야 할 필요성이 요구된다.



[그림 3-3-4] 해조류 생장시기별 특성.

Table 1. Parameter requirements for Japanese kelp aquaculture development in the southern part of Hokkaido Island, Japan.

Parameters	Interpretation parameter	Optimum	Reference
Sea surface temperature	Favourable temperature for kelp culture	9–12°C	Scoggan *et al.* (1989), Fang *et al.* (1996), Suzuki *et al.* (2008)
Suspended solids	Indicates level of water clarity (turbidity)	$<2\ g\ m^{-3}$	Otero and Siegel (2004), Nezline *et al.* (2005)
Bathymetry	Favourable depth for hanging culture	10–30 m	Scoggan *et al.* (1989), Kawashima (1993), Fang *et al.* (1996)
Slope	Favourable slope for hanging culture	<10°	Bushing (1995), Bekkby *et al.* (2009)

Relationship between major brown algae and their habitat's environmental factors

Species	Major habitat environmental factors							
	Feb. water temp.* (℃)	Aug. water temp.* (℃)	Sal.* (psu)	pH**	COD* (mg/L)	NH_4-N*** (μ mol/L)	DIN*** (μmol/L)	Wave height* (m)
Laminaria japonica	-1~8	20~24	-	<8.9	-	0.0~7.0	0.1~26.0	2.5
Undaria pinnatifida	2~14	20~27	> 23.7	"	< 2.2	3~7.5	2~18.0	1.8
Eisenia bicyclis	7~14	22~27	> 30.0	"	< 1.6	0.0~2.7	0.50~8.96	2.5
Ecklonia cava Kjellman	10~16	23~27	> 30.9	"	< 1.3	0.07~9.3	0.36~13.20	6.0
E. kurome Okamura.	8~14	26~27	> 31.8	"	< 1.4	0.0~8.92	0.32~12.06	2.1
S. horneri (Turner) C.	4~19	20~28	> 26.6	"	< 2.2	0.17~4.6	0.30~7.85	1.0
S. patens C.Agardh.	6~20	24~28	> 29.8	"	< 1.3	1.39	2.20	1.0
S. ringgoldianum Harvey ssp.	7~16	22~27	> 30.9	"	< 1.3	0.42	3.68	4.0

* 須藤, ** 関 等, *** 日本水産資源保護協会

[그림 3-3-5] 해조류 양식장 개발에 요구되는 해양환경인자와 최적 범위.

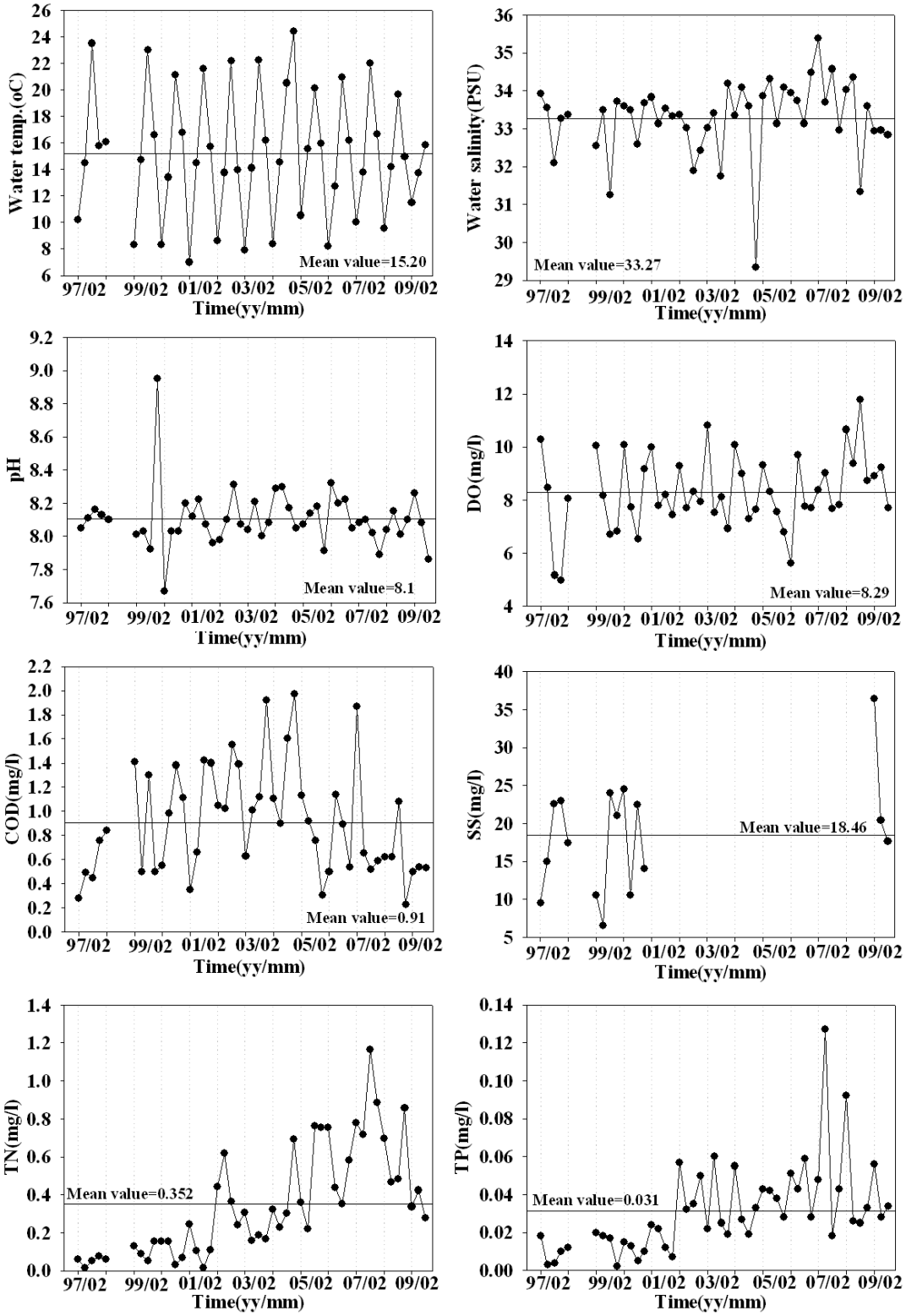
(6) 해조류 양식환경인자 영향분석 사례 - 완도와 기장해역을 중심으로

본 연구는 우리나라 완도 해역과 기장해역의 해조류(미역, 다시마, 김) 생산량과 전술한 바와 같이 해조류 양식 환경 모니터링을 위한 관측 요소중 대표적인 항목에 대한 해양수질과의 상호관련성을 비교 평가하기 위한 연구이다. 즉, 연안해역에서 생산되는 해조류의 연간 생산량이 해양수질 인자중 어떠한 항목에 의해 크게 영향을 받는지에 대한 연구로서 향후 외해 해조류 양식시설 설치에 따른 해조류 생산량 극대화에 기여하는 해양수질의 항목과 이에 대한 기여도를 평가하기 위한 기초연구라고 할 수 있다.

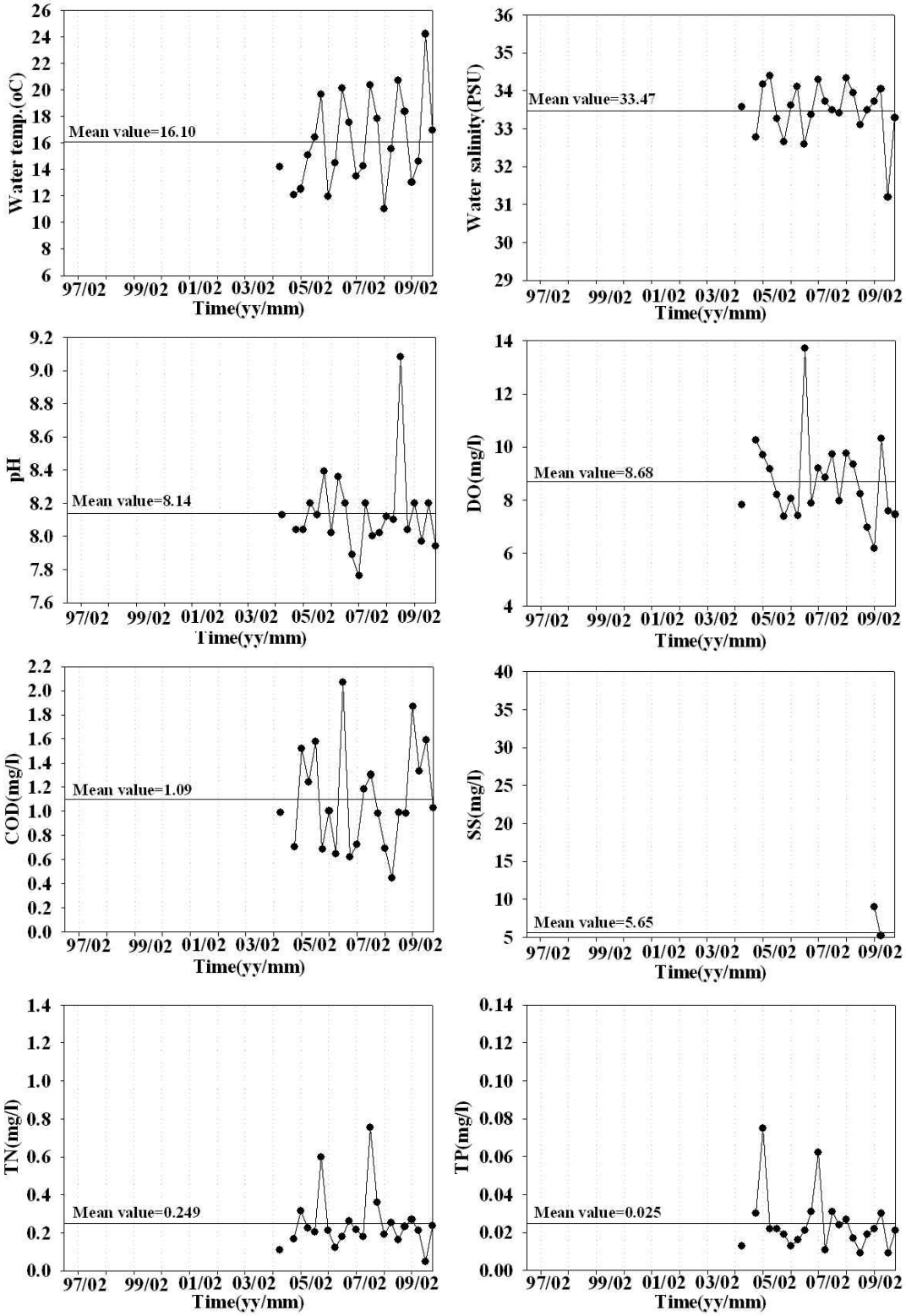
본 연구에 사용된 해조류 생산량은 [그림 3-3-6]에 나타낸 완도군과 기장군의 통계연보에 제시된 수산물 생산량으로서 완도해역의 경우 완도군 전체(1995-2009년)와 금일읍(2007-2009년)의 자료를, 기장군은 기장군 전체 자료(1997-2009년)를 사용하였다. 또한 해양수질 자료는 국립수산과학원의 국가해양관측망 자료를 해역별 생산량 자료에 해당하는 년도에 대해서 수온, 염분, pH, DO, COD, SS, TN, TP의 7개 수질항목을 사용하였다. 해석과정에서 수질항목과 생산량의 비교는 해조류의 성장시간인 2월과 11월의 수질자료와 생산량을 비교하였다.

[그림 3-3-7]과 [그림 3-3-8]은 완도 및 기장해역의 1997년부터 2009년까지의 표층 평균수질변화를 각각 나타낸 것이다.

[그림 3-3-6] 완도와 기장해역의 해조류 양식장 위성사진.

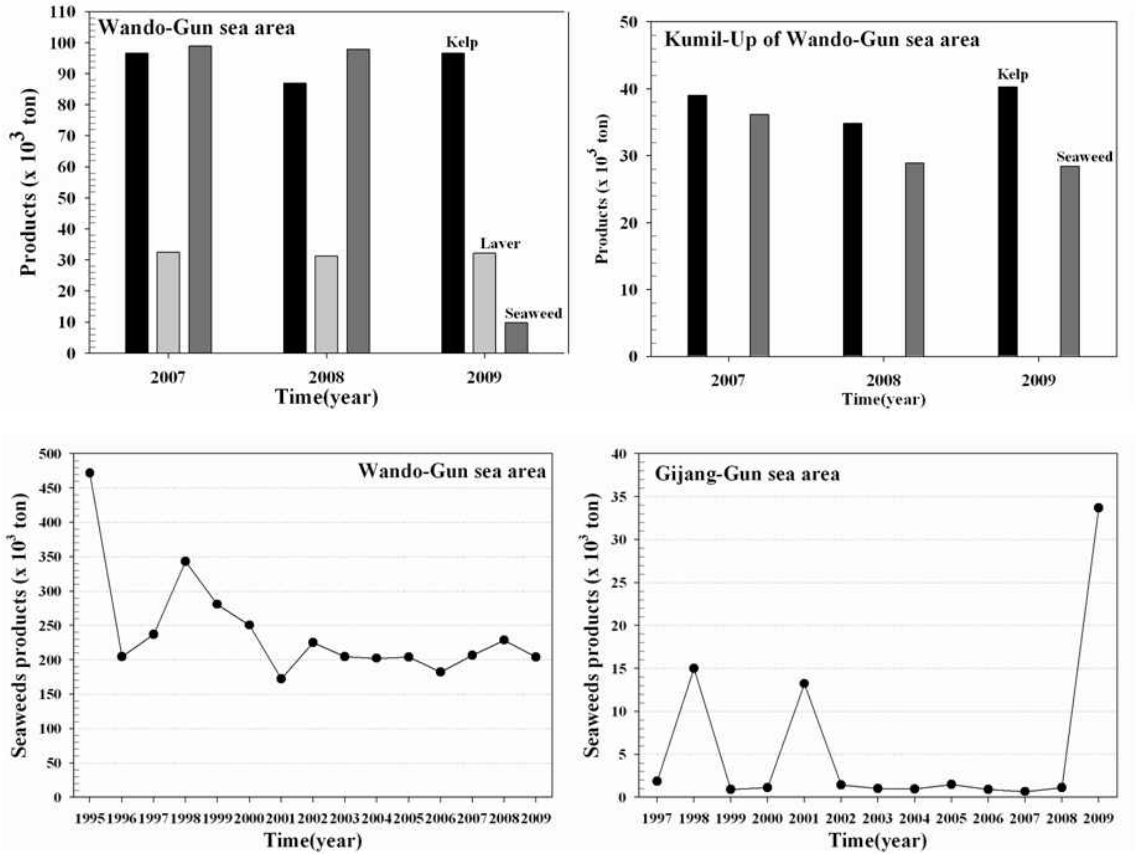


[그림 3-3-7] 완도해역의 1997년부터 2009년까지의 표층 평균수질변화.



[그림 3-3-8] 기장해역의 1997년부터 2009년까지의 표층 평균수질변화.

두 해역의 해조류 생산량을 비교해보면 2009년의 경우 기장군의 경우 33,698ton 이며, 완도군의 경우 204,000ton으로 기장군의 약 5배이다. 최근 기장군의 생산량이 급격히 증가한 상황을 고려하면 그 차이는 더욱 크다고 할 수 있다([그림 3-3-9]).

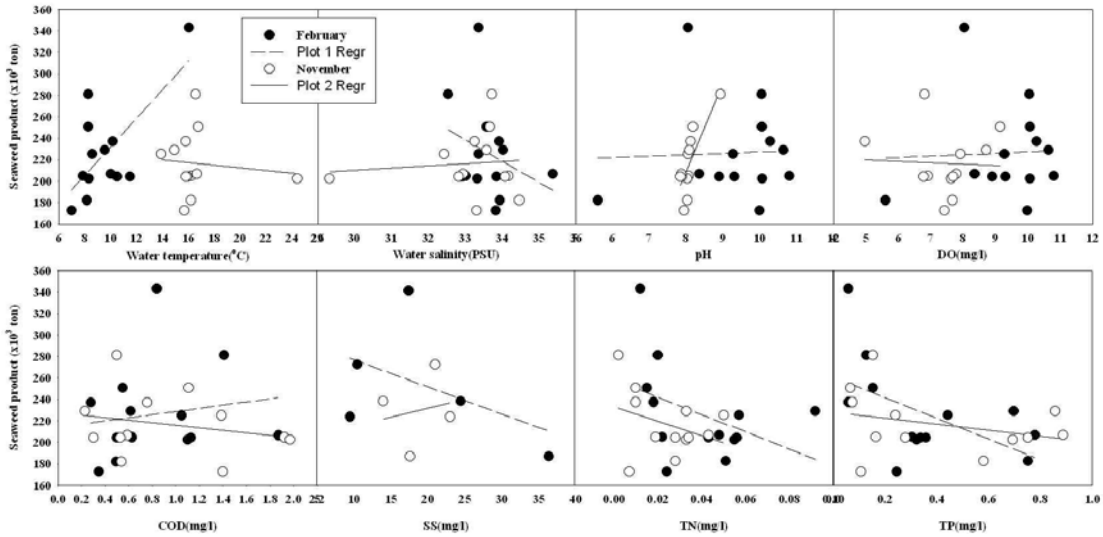


[그림 3-3-9] 완도와 기장해역의 해조류 양식장 생산량 경년변동 특성.

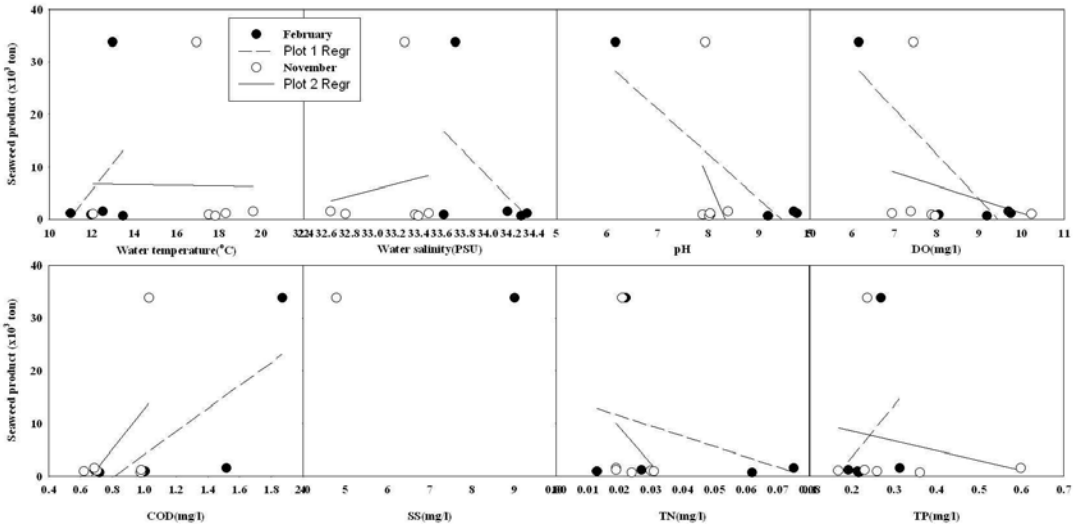
[그림 3-3-10]은 1997년부터 2009년까지의 완도군 해조류 생산량과 완도해역 해양수질자료(정점4)의 2월과 11월의 비교 결과를 나타낸다. ●는 2월, ○는 11월로서 수온의 경우 2월 수온이 높으면 생산량도 높고, 11월이 높으면 생산량은 감소하는 경향을 나타낸다. 결과적으로 2월의 경우 수온, COD 증가시 생산량도 증가하고 염분, SS가 증가하면 생산량은 감소하는 경향을 보이며 pH, DO는 큰 영향이 없고, TN과 TP의 경우 그 수치가 증가할 수 록 생산량은 모두 감소하였다. 11월의 경우 다소 차이를 보이나 수온, 염분, pH, COD, SS 등에서 그 차이를 살펴볼 수 있다.

또한 기장 해역 해조류 생산량과 해양수질인자간의 상호관련성 비교를 나타낸 [그림 3-3-11]을 살펴보면 분석자료 미흡으로 다소 분산성이 큰 경향을 나타내고 있다. 2월 수온이 높으면 생산량도 높고, 11월이 높으면 생산량은 감소하는 경향을 나타내었으

며, COD 증가시 생산량도 증가하는 경향으로 완도의 경우와 동일하고 pH, DO, TN는 다소 증가함에 따라서 생산량은 감소 경향, 11월 TP의 경우도 동일한 경향을 나타내었다.



[그림 3-3-10] 완도군 해조류 생산량과 해양수질인자간의 상호관련성 비교.



[그림 3-3-11] 기장해역 해조류 생산량과 해양수질인자간의 상호관련성 비교.

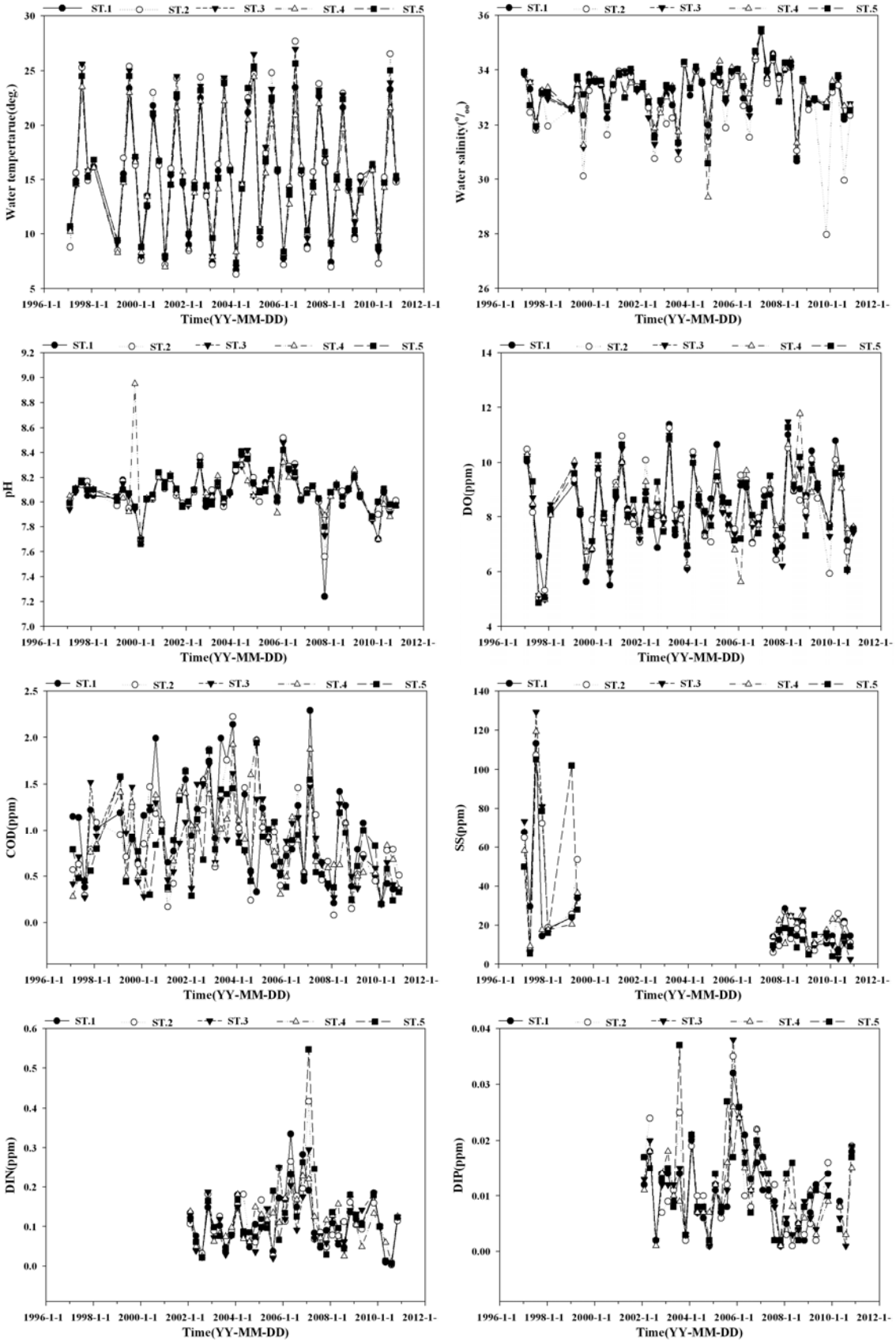
(7) 해조류 양식해역 수질인자 공간분포 - 완도 해역을 중심으로

본 연구는 우리나라 완도 해역에 대해서 수질환경인자가 공간적으로 어떻게 차이를 보이는가를 평가하고자 하였다. 이는 조사정점이 위치하는 수심의 분포가 향후 외해 해조류 양식시설 적지선정에 미치는 영향을 평가하는 기초적 자료로 활용 가능할 것으로 생각되었다. 본 연구에 사용된 해양수질 자료는 국립수산과학원의 국가해양관측망 자료를 해역별 생산량 자료에 해당하는 년도에 대해서 수온, 염분, pH, DO, COD, SS, DIN,

DIP의 7개 수질항목을 사용하였다. 조사정점은 [그림 3-3-12]에 나타낸 것과 같이 총 5개 정점이며 각 정점의 특징은 다도해 특성상 외해와 접해있는 정점(ST.4)과 섬과 섬사이의 수로상에 위치하는 정점(그외 나머지 정점)으로 구분할 수 있다.

수질조사 자료를 바탕으로 완도 해역 각 정점별 해양수질의 경년변동을 나타낸 것이 [그림 3-3-13]에 해당한다. 그 결과를 살펴보면 외해역에 해당하는 ST.4의 경우 수온, 염분, COD가 다른 정점들에 비해서 낮고 DIN, DIP가 상대적으로 높은 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 물론 조사된 결과가 거리상으로 크게 떨어져 있지 않고 지형적 특성에 의해 각 정점의 천해, 심해 구분이 불명확한 점이 있다고 판단된다. 따라서 향후 이 부분에 대한 보다 세밀한 해석방법이 요구된다고 할 것이다.

[그림 3-3-12] 완도 해역 해양수질 조사정점(국립수산과학원).



[그림 3-3-13] 완도 해역 각 정점별 해양수질의 경년변동.

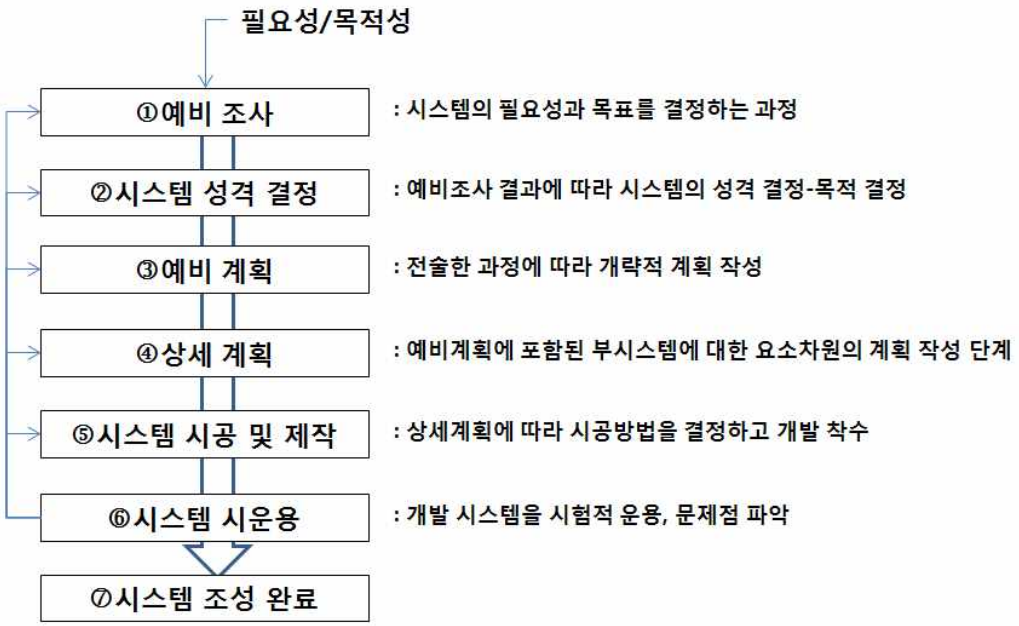
나. 외해 양식시설 환경 모니터링 설계 개념 정립

(1) 종합기능형 개발계획의 순서

시스템 공학의 측면에서 외해 양식시설 환경 모니터링 시스템은 하나의 시스템으로 볼 수 있다. 시스템의 기능이 발휘되려면 시스템을 구성하는 요소(element)들이 제 기능을 발휘해야한다. 몇 개의 요소가 모여서 부시스템(subsystem)을 형성하고, 부시스템을 조합하여 전체시스템을 구성하게 되는 것이다. 예로들어 본 연구의 총괄과제의 측면에서 보면 외해 양식시설 환경 모니터링 시스템은 부시스템 또는 하나의 요소가 되는 것과 같은 의미를 가진다.

따라서 하나의 요소가 주기능 및 부차적인 기능을 가질 수 있다. 마찬가지로 부시스템 및 전체시스템도 주기능과 부차적 기능을 가질 수 있다. 요소 또는 부시스템의 부차적 기능이 부시스템 또는 전체시스템의 주기능을 위한 핵심기능이 될 수도 있고, 전체시스템에서 요구하는 요소 및 부시스템의 기능과 이들이 가진 주기능이 일치하는 경우도 있다.

기존의 시스템을 활용하여 이들을 요소 또는 부시스템으로 가지는 새로운 시스템을 구성하는 것이 종합기능형 개발계획의 일반적인 개념이라 할 수 있다. 이때 기존의 시스템이나 요소는 새로운 시스템의 기능이 부합되도록 변경, 첨삭이 가능하다고 가정한다. 외해 양식시설 환경 모니터링 시스템 개발의 일반적인 과정은 다음 [그림 3-3-14]와 같다.



[그림 3-3-14] 종합기능형 시스템 개발계획의 순서.

예로들어 예비조사의 경우 환경모니터링 시스템 개발의 필요성을 판단하고 시스템 운용에 따른 긍정적 및 부정적 기대효과를 정립하는 것이다. 또한 시스템 성격 결정의 경우 시스템이 단일목적이거나 다목적일 수 있으며 이에 대한 우선순위를 부여하는 것으로 본 양식시설 환경모니터링 시스템을 단순히 해양관측용으로만 사용할 것인지 해상전진기지 또는 예로들어서 신재생 에너지 생산을 위한 시험시설로 활용할 것인지 등을 판단하는 것이라 할 수 있다.

그리고 예비계획 단계의 경우 시스템 구조물의 양식을 고정식으로 할지 부유식으로 할지, 또는 어떤 규모를 가지게 할 것인지 등을 판단하는 단계이며, 상세계획의 경우 모니터링 시스템으로 어떤 환경인자 센서를 부착할 것인지 또는 계측된 자료를 어떻게 전송할 것인지 등을 수립하는 단계라고 할 수 있다.

하지만 외해 양식시설 환경 모니터링 시스템 개발에서 위의 ⑤, ⑥단계는 사실상 현단계에서는 실시의 어려움이 있다. 즉, 상세계획에 따라 시설물이나 부시스템의 시험적 운용이 본 연구와 같이 소규모이거나 일부 요소 기능을 위주로하는 부시스템의 차원에서 볼때는 바로 실제적 사용을 의미하기 때문이다. 일단 계획에 따라 시스템이 개발되어 이를 운용하다가 발견된 문제점의 해결에는 막대한 예산과 인력이 소요되기 때문이다. 따라서 용의주도한 상세계획의 작성이 필수적이며 ①~④단계로서 개발계획이 완성된다고 생각할 수 있다.

(2) 양식시설 환경 모니터링 연구 추진전략과 흐름

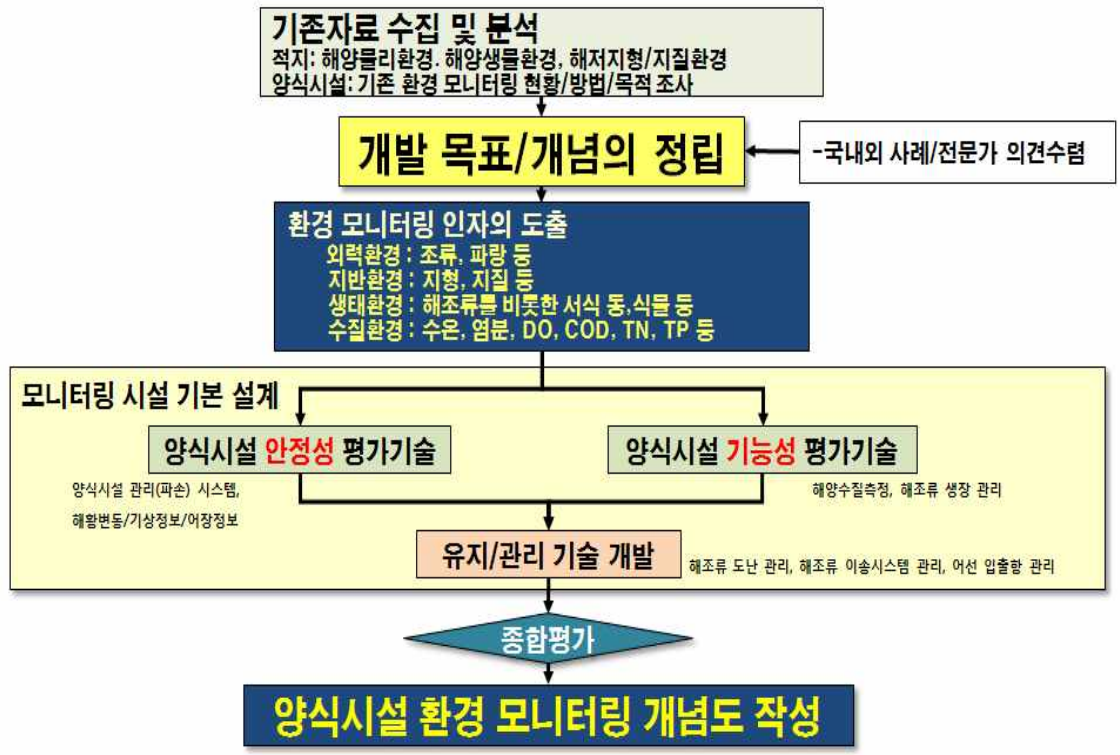
본 연구는 상술한 바와 같이 저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위한 해조류의 대량생산 기술 개발의 세부연구과제로서, ① 지속적인 해조류 대량생산을 위한 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발, ② Pilot 시설의 안정성 및 기능성 확보를 위한 지속적인 유지관리 시스템 구축에 그 목적이 있다. 따라서 최종 목표 달성을 위해 정확한 연구개발 목표 및 개념을 정립하고 세부적인 전략을 수립하는 것이 요구된다.

이에 본 연구에서는 현재까지의 연구결과를 바탕으로 상술한 종합기능형 개발계획 순서에 따라서 외해 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템의 연구 추진전략과 흐름을 [그림 3-3-15]와 같이 수립하고자 한다.

세부적으로 살펴보면 환경 모니터링 인자를 도출하고 이에 합당하는 장비 도입과 적용 범위를 규정하고자 한다. 이를 바탕으로 양식시설의 안정성과 기능성을 평가하는 기술을 개발하는 것에 초점을 두고 있다. 양식시설의 안정성이라 함은 양식시설 관리(파

손) 시스템, 해황변동/기상정보/어장정보 등에 대한 내용이며, 기능성이라 함은 해양수질 측정, 해조류 생장관리 등을 포괄하는 것이다.

마지막으로 이를 통합하여 해조류 도난관리, 해조류 이송시스템 관리, 어선 입출항 관리 등에 해당하는 유지/관리 기술을 개발하는 것이다.



[그림 3-3-15] 양식시설 환경 모니터링 연구 추진전략과 흐름도.

다. 모니터링 시스템 설계 기초조사

외해 양식시설물 설치지역에 대한 지속적인 환경모니터링을 위해 모니터링 시스템의 구조물 양식 및 환경인자 획득을 위한 센서 부착 등의 기초적인 설계가 요구되고 있다. 특히 시설물에 대한 안정성 및 기능성은 전술한 바와 같이 [표 3-3-1]의 외해 대량 양식 시설 환경모니터링의 기술체계에 근거하여 도출되어야 할 것으로 판단된다.

즉, 기능성을 고려한 구조물 설계는 해조류 성장 및 발달 인자(수온, 염분, DO, TN, TP, pH 등)들과 같이 해조류의 생육발달조건에 필요한 해양환경인자의 실시간 변동량을 조사하여 대상 해조류의 최적의 생육조건을 모니터링하기 위한 기술의 개념설계가 전제되어야 하며, 안정성을 고려한 구조물 설계는 해양파랑 및 조류 등의 해양외력환경을 고려한 양식장 시설물/구조물의 파괴 및 이동 경로 파악 등이 고려되어야 할 것이다.

물론 상술한 바와 같이 본 연구에서 제안하는 외해 양식시설 환경모니터링 시스

템은 육상으로부터 원거리에 위치하므로 다양한 현실적인 문제를 가지고 있음을 알 수 있다. 하지만 근본적으로 해양 에너지(파력, 조류, 풍력, 태양광, 매스 하이드레이트)를 이용 · 개발하기 위한 개념을 포괄하는 것으로 설계를 고려하는 것이 가장 현실적이고 미래 지향적인 추진방향이라고 할 수 있다.

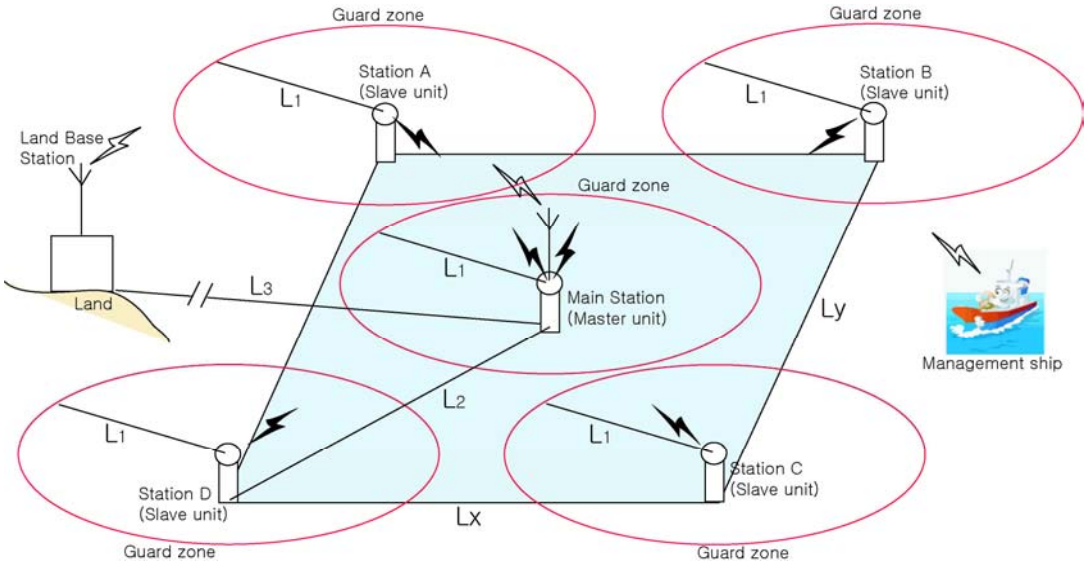
(1) 육역-해역 연계성을 고려한 시스템 배치 개념

최근 우리나라(통영) 연안일대를 중심으로 활어양식수산업 경쟁력 강화와 적조·도난·어류폐사위기 등 위급상황발생시 신속한 대응체계 마련을 위하여 추진된 사례가 조사되었다. 그 분석 결과에 따르면 천해 어류양식시설 실시간 해양관측시스템의 사례를 외해 양식시설로 적용할 경우, 전원공급/장치, 시스템 설치공간, 무선통신 거리, 기상DATA 획득, 계측장비 안전성의 문제를 극복해야할 것으로 판단된다. 아울러 외해양식시설의 규모를 고려한 무선 통신망의 구축 개념을 도입하면 아래 [그림 3-3-16] 및 [그림 3-3-17]과 같이 정리할 수 있다.

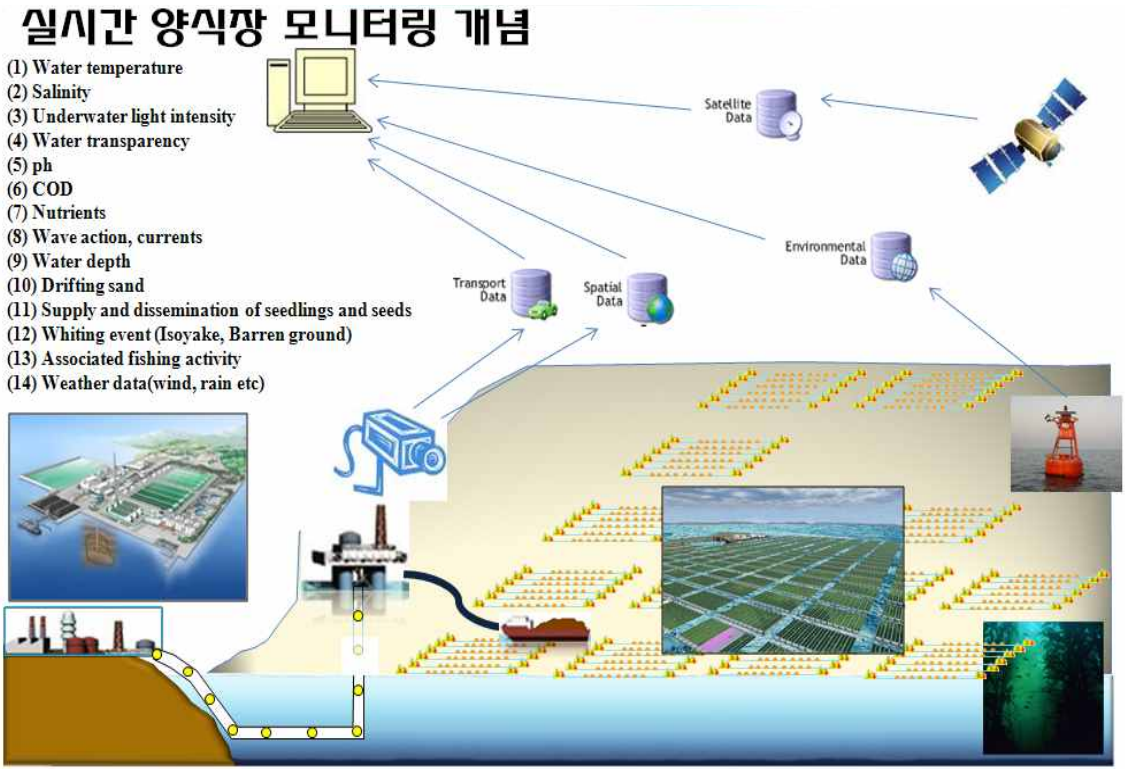
(2) 수심별 해조류 성장 영향인자를 고려한 모니터링 시스템 배치 개념

미역, 다시마 등의 해조류는 난류해역의 외양이나 외양에 가까운 암초 또는 자갈 위에 부착하여 살고 있으며 우리나라에서는 남쪽의 제주도 연안에서 북쪽의 황해도 두만강에 이르는 전 연안에 분포하며 특히 제주 강원 경북 경남 등지의 연안에서 생산되고 있다. 일반적으로 미역은 전복이 살고 있는 곳에 살고 있으므로 전복의 서식분포와 같다. 서식수심은 대체로 간조선 이하로부터 5-6m의 수심에서 많이 살고 수심 10-12m의 깊은 곳에서도 살고 있다. 산지 및 서식환경에 따라서 미역의 서식수심이 차이가 있으며 보통 북쪽일수록 얕은 곳에 살고 남쪽으로 갈수록 점차 깊은 곳에 살고 있다. 따라서 해조류의 생장에 적합한 환경을 조성하고 이에 대한 환경모니터링을 수행하기 위해서는 이에 부합되는 관측기기의 도입이 요구되고 그 성능도 사전에 검토될 필요가 있다.

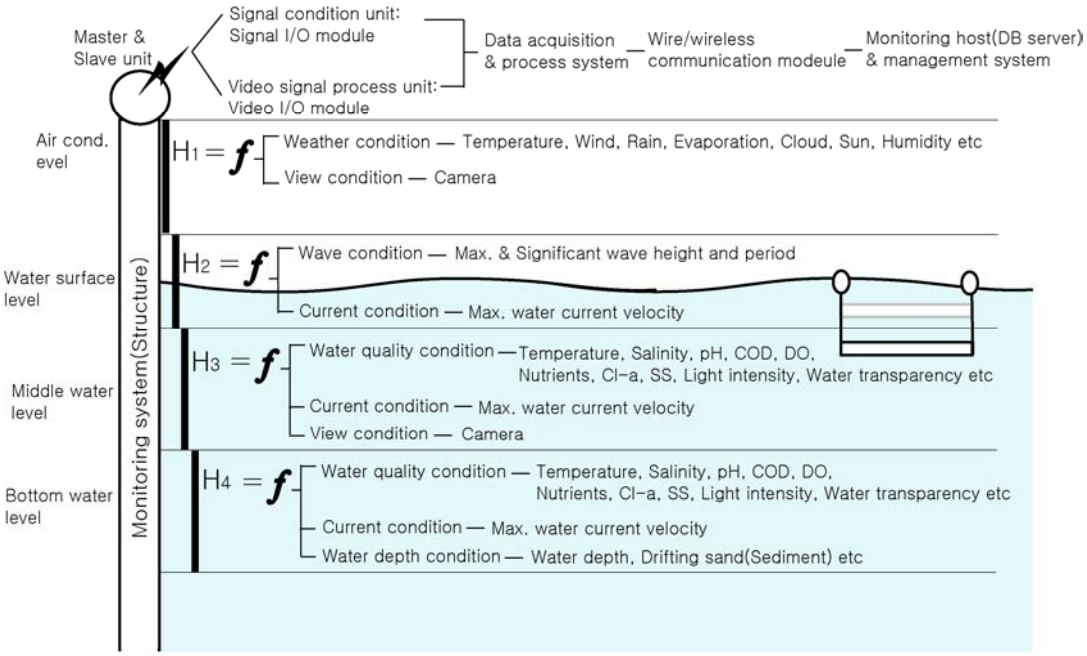
본 연구에서는 기존에 연구된 자료를 바탕으로 해조류의 성장에 요구되는 수질환경 인자를 선별하고 그에 대한 최적 성장 범위를 확인하고자 하였다. 이를 외해 양식시설 환경에 적용하면 목적 및 기능별로 해양환경 인자의 선별 결과를 [그림 3-3-18] 및 [그림 3-3-19]에 제시한 바와 같다.



[그림 3-3-16] 외해 양식시설 환경모니터링을 위한 통신망 구축 개념.



[그림 3-3-17] 외해 양식시설 환경 실시간 모니터링 설계 개념도.



[그림 3-3-18] 수층별 환경인자 모니터링을 위한 영향인자 구분.

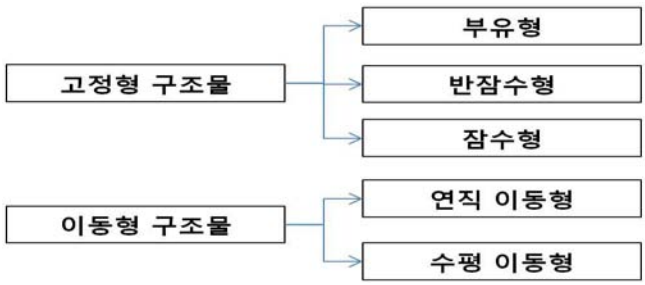
[그림 3-3-19] 외해 양식시설 환경인자 모니터링 시스템 세부 구성 개념도.

(3) 환경모니터링 설치 구조물 설계

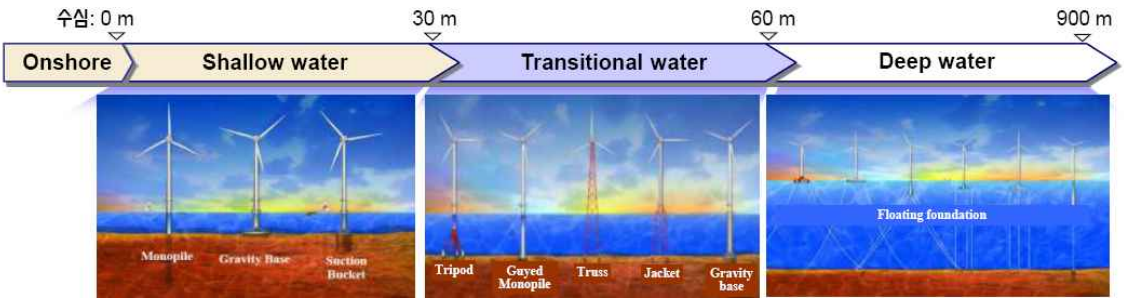
(가) 외해 구조물의 기본 형태 결정

단순한 형태의 환경모니터링 설치 구조물로서는 고정형(fixed), 부유형(floating), 반잠수형(submersible), 잠수형(submerged) 등 4가지 기본 형태로 구분할 수 있다([그림 3-3-20]). 위의 4가지 종류는 일정한 장소에 고정되어 설치되나, 최근 그 위치를 수평 또는 연직방향으로 이동시킬 수 있는 이동식 구조물로서 설계가 가능할 것으로 생각된다.

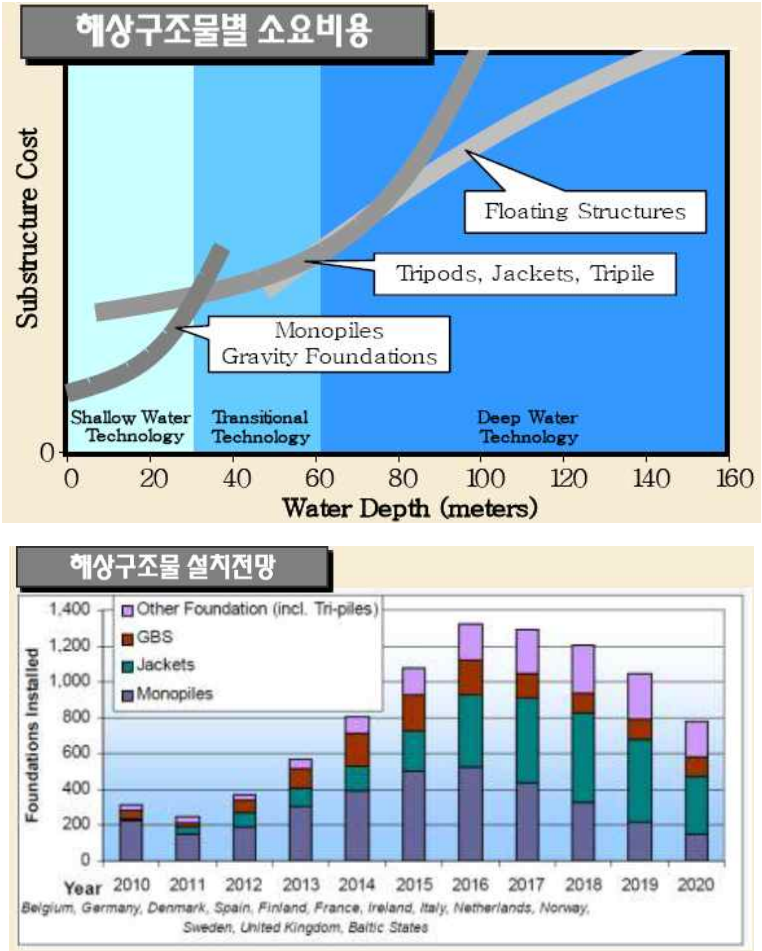
하지만 이러한 구조물의 형태를 결정하는 인자는 [그림 3-3-21]에서와 같이 수심에 따른 경제적 비용을 고려하지 않을 수 없다. 해상풍력발전의 경우를 예로 들어 살펴보면 천해역(Shallow water) 30m이내의 수심에서는 대체적으로 pile(말뚝)을 이용한 고정형 구조물의 형식을 가지나 중간역(Transitional water)에서는 고정형 구조물과 Jacket 형이거나 이를 복합적으로 이용한 형식을 가진다. 하지만 이보다 깊은 수심의 심해역(Deep water)의 경우에는 대체적으로 부유형 구조물로서 부이(buoy)와 로프, 닻을 이용한 구조물 형식을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 [그림 3-3-22]에서 해상구조물별 소요비용 및 설치전망(해상풍력의 경우)을 살펴보면 대체적으로 대수심으로 갈 경우 소요비용이 다른 경우보다 효율적임을 알 수 있다.



[그림 3-3-20] 환경모니터링 설치 구조물 기본 형태 종류.



[그림 3-3-21] 수심에 따른 구조물 형식의 특징(해상풍력의 경우).



Source: NREL, "Energy from Offshore Wind", 2006
GL Garrad Hassan, "World Offshore Wind Market and challenges ahead", Hamburg Offshore Wind Conference, 5-6 May 2010

[그림 3-3-22] 해상구조물별 소요비용 및 설치전망(해상풍력의 경우).

(나) 외해 구조물 설계를 위한 외력인자

외해의 경우 천해역보다 청정한 수질을 가지고 있음에 반해 양식시설에 직접 피해를 줄 수 있는 높은 파랑이 상존하는 해역이기도 하다. 따라서 양식시설을 수질이 좋고 개방된 외해역에 설치하려고 할 때에는 이러한 고파랑의 외력에 견딜수 있는, 즉 내파성을 가진 시살이 되도록 설계할 필요가 있다. 이에 내파성 양식시설이라는 용어가 태동하고 일부 연구자들에 의해 이에 대한 연구가 활발히 수행되어지고 있다.

일반적인 설계외력으로는 정적 하중(수직 하중)과 동적 하중(수평 하중)으로 구분할 수 있다. 정적 하중은 구조물의 무게와 이에 부속되는 시설물의 무게의 합으로 구할 수 있다. 그리고 동적 하중은 구조물에 작용하는 항력, 구조물의 뼈대에 작용하는 파력과 풍력의 합력으로 생각할 수 있다. [그림 3-3-23]은 양식시설 모니터링 시스템 구조물 설계에 고려되어야 할 해양물리환경인자를 정리한 것이다.

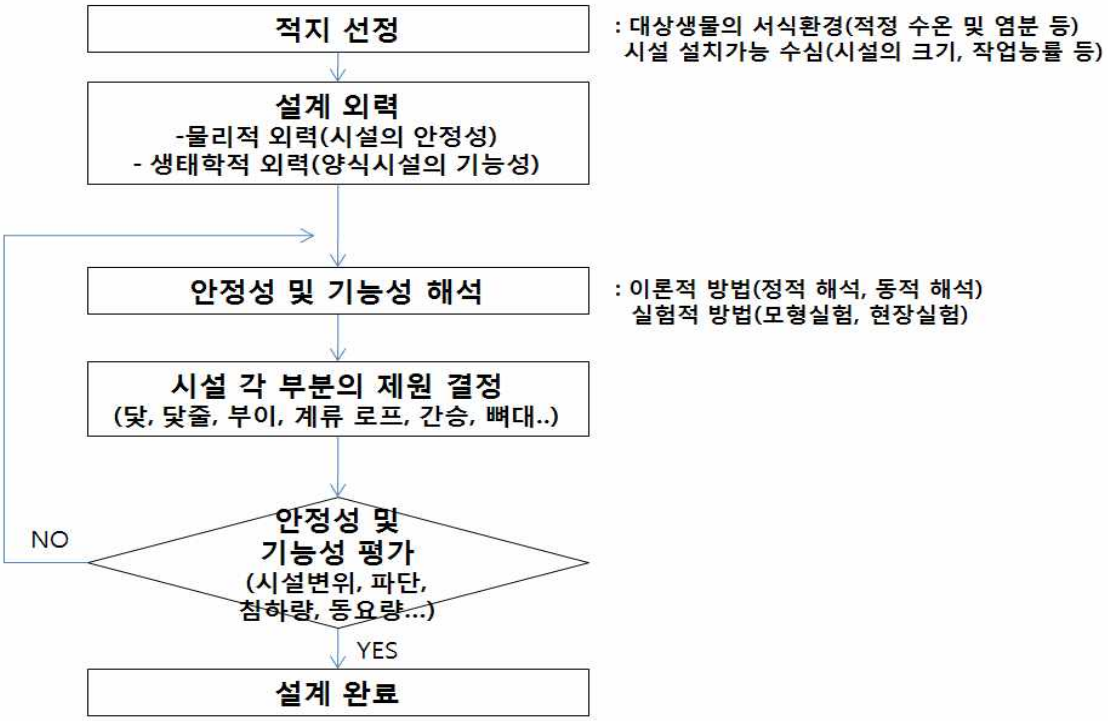
Wind Conditions	Wind States
Normal Wind Conditions	Normal Wind Profile Model (NWP)
	Normal Turbulence Model (NTM)
Extreme Wind Conditions	Extreme Wind Speed Model (EWM)
	Extreme Operating Gust (EOG)
	Extreme Turbulence Model (ETM)
	Extreme Direction Change (EDC)
	Extreme Coherent Gust with DC (ECD)
	Extreme Wind Shear (EWS)
Other	Reduced Wind Model (RWM)

Marine Conditions	Sea States	
Wave	Normal Sea State (NSS)	Normal Wave Height (NWH)
	Sever Sea State (SSS)	Severe Wave Height (SWH)
	Extreme Sea State (ESS)	Extreme Wave Height (EWH)
		Reduced Wave Height (RWH)
		Braking Wave Height
Current	Sub-sea current	
	Near surface current	
	Surf current	
Water Level	Normal Water Level Range (NWLR)	
	Extreme Water Level Range (EWLR)	
Others	Sea Ice, Marine Growth, Seabed movement, Scour	

[그림 3-3-23] 양식시설 모니터링 시스템 구조물 설계인자.

해양생물생산을 목적으로 하는 시설물의 설계는 첫째, 대상 생물의 서식 조건을 고려한 적지의 선정, 둘째, 시설의 안정성 확보를 위한 구조물 각 부분의 치수 결정을 위한 외력조건의 결정과 안정성의 해석, 셋째, 양식시설로서의 기능성 확보, 즉, 시설동요 및 설치수심의 제어 등 시설관리의 편리성은 물론 양식생물의 성장제고 및 고품질화와 관련한 시설보완 과정을 반복하면서 최적의 장소에 최적의 생산성을 확보할 수 있는 시설의 칫수를 결정하는 것이다.

그 기본 흐름을 요약하여 나타낸 것이 [그림 3-3-24]이다. 그림에서 알 수 있듯이 대상 해역의 설계외력 하에서 시설의 안정성 및 기능성 해석을 통해 시설 각 부분의 제원이 결정되어야 하며, 이 시설의 안정성과 기능성은 경제성, 설치 및 관리의 효율성 등이 포괄적으로 고려되어야 한다. 아울러 양식 기능 및 효율의 최적화를 위하여 양식물의 성장에 따른 시설의 하중의 증가에 대한 대책, 태풍 및 긴급 재해에 대한 대책, 부착생물에 대한 대책 등도 필요하다.



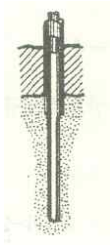
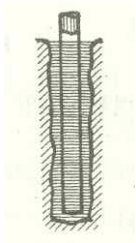
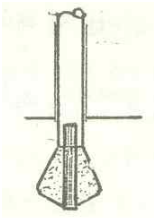
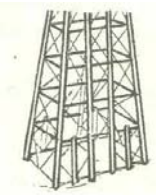
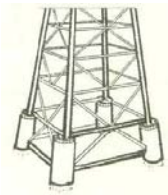
[그림 3-3-24] 내파성 양식시설의 설계 흐름도.

(다) 고정형 구조물의 기초설계

고정형 구조물의 기초부는 일반적으로 말뚝기초(Pile foundation)에 해당한다. Pile은 Jacket과 같이 상부 구조물과 지반을 연결하는 부재로서 용량이 큰 Hammer로 해저 깊이 박혀지며 해저 지질에 따라 다음에 기술하는 바와 같은 종류가 있다. 일반적으로 많이 사용되는 Pile은 [표 3-3-8]에 나타낸 바와 같다.

구조물의 자중 및 overturning moment 때문에 leg를 통한 pile에 전달되는 축방향 압축력 혹은 인장력에 저항하여 구조물 전체를 안전하게 해저에 고정시키기 위하여서는 pile을 상당한 깊이까지 관입시켜야 한다. [그림 3-3-25]는 고정형 구조물의 해저 기초설계 사례(해상풍력발전의 예)이다.

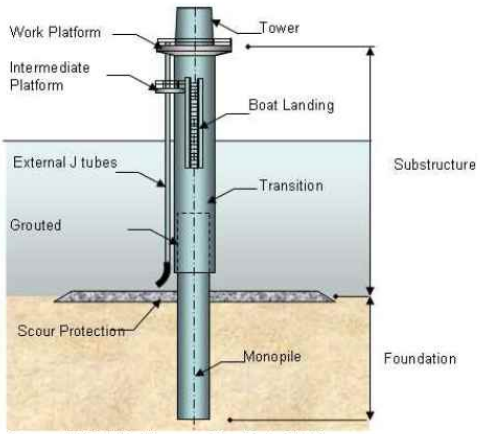
[표 3-3-8] 고정형 구조물의 말뚝기초(pile)의 종류

pile의 종류		상세 설치 방법 및 내용
Driven pile		끝이 뚫린 pile을 증기, diesel 및 Hydraulic hammer로 요구되는 관통 깊이까지 박아 내려간 것
Drilled and grouted pile		pile 직경보다 다소 큰 구멍을 뚫은 후 pile을 세우고 그 주변에 grout를 채운 것
Belled pile		pile의 bearing 및 uplift capacity를 증가시키기 위하여 pile 끝을 종모양으로 넓히고 bell과 pile 사이에는 콘크리트로 메운 것
Skirt pile		legs에 설치한 piles만으로는 풍·파력에 따른 과대한 overturning moment에 견디지 못할 경우에 설치하며, 특히 해저지질로 보아 pile 침투깊이를 감소시켜야 할 경우에 설치
Group pile		skirt pile을 합쳐서 legs 둘레에 다발형태로 설치하는 것으로 심해 및 설계파고가 높은 북해 해역에서 많이 사용됨

Type	Use	Notes
Monopile	Shallow to medium water depths (0 - 30m)	• Steel tube, 4-6m in dia. • Installed using driving or drilling method • Transition piece grouted onto top of pile
Jacket	Medium to deep water depths (30 – 60m)	• Steel tubes welded together, 0.5-1.5m in dia. • Anchored by driven or drilled piles, 0.8-2.5m in dia.
Tripod	Medium to deep water depths (30 – 60m)	• Steel tubes welded together, 1.0-5.0 in dia. • Transition piece incorporated onto centre column • Anchored by driven or drilled piles, 0.8-2.5m in dia.
Gravity base	Shallow to medium water depths (0 – 30m)	• Steel or concrete • Relies on weight of structure to resist overturning, extra weight can be added in the form of ballast in the base • Seabed may need some careful preparation • Susceptible to scour and undermining due to size
Floating structure	Very deep water depths (60 – 900m)	• Still under development • Relies on buoyancy of structure to resist overturning • Motion of floating structure could add further dynamic loads to structure • Not affected by seabed conditions

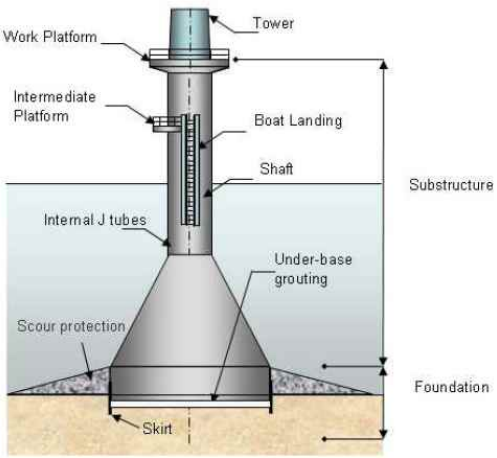
Source: EWEA Wind Energy – The Facts, 2009

Monopile type 기초

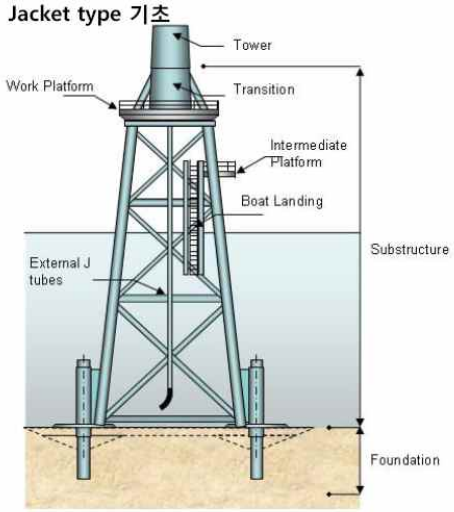


Source: EWEA Wind Energy – The Facts, 2009

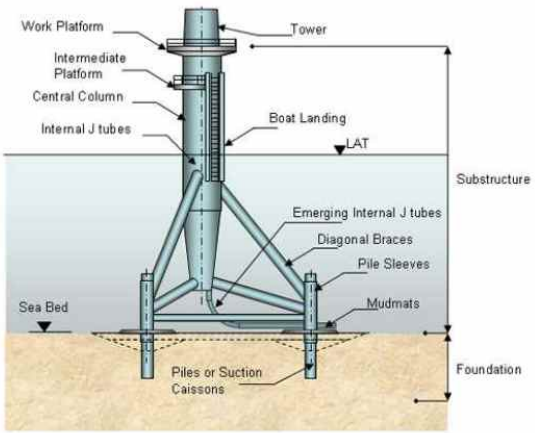
Gravity type 기초



Jacket type 기초



Tripod type 기초



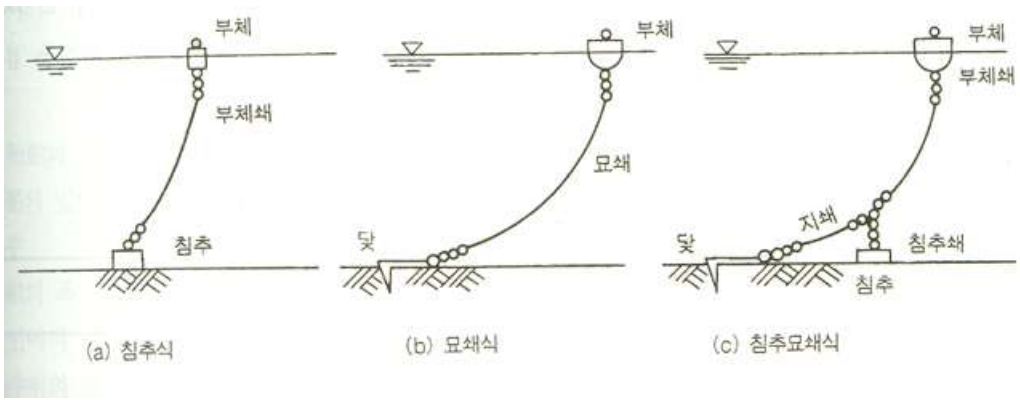
Source: EWEA Wind Energy – The Facts, 2009

[그림 3-3-25] 고정형 구조물의 해저 기초설계 사례(해상풍력발전의 예).

(라) 부유식(수중/부이) 시스템의 구성

외해에서 사용가능한 부유식(수중/부이) 시스템은 일반적으로 항만구조물중에서 계선부표(Mooring Buoy)의 설계와 유사하며 이의 설계기준에 준하여 설계가 가능하다.

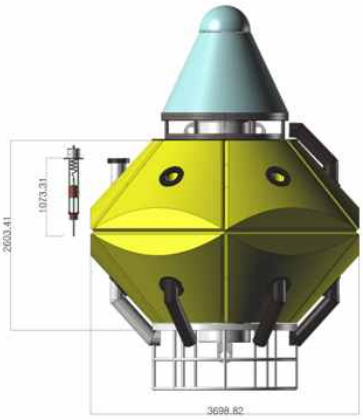
일반적으로 계선부표(Mooring Buoy)는 주로 항만 박지에 있어서 해저에 계류 Anchor된 선박계류용의 부표이고 그 구조는 일반적으로 부체, 계류환, 부체쇄, 침쇄, 계류 Anchor 등으로 이루어져 있다. 계선부표는 석유류하역, 목재하역 또는 거룻배 하역등에 쓰여지는 외에 선박의 계류만을 목적으로 설치되는 것도 많다. 특히, 묘박의 경우에 비하면 보다 좁은 박지면적으로 계류가능하고, 해저가 암반이고 묘박이 불가능한 항에서는 이것을 이용해서 정박한다. 타 계류시설보다 경제적이며, 이설이 용이하다. 안벽계류에 비해 보다 큰 파고하에서 계류가 가능하고, 일반적으로 하역의 기계화가 곤난하고 안벽 하역에 비해 하역작업의 능률이 뒤떨어지는 수가 많다. 하지만 안벽계류에 비해 넓은 박지면적을 필요로 한다.



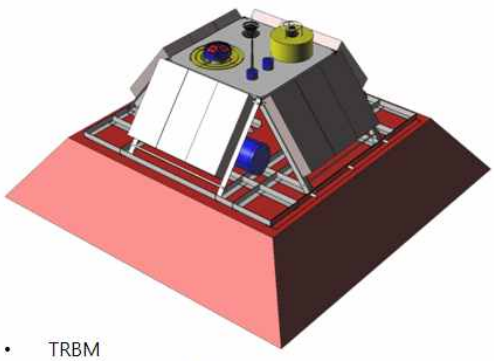
[그림 3-3-26] 계선부표의 일반 형식.

최근 KOGA(Korea Ocean Gate Array) 해역에 관측망을 구축하고, 이를 활용하는 모니터링 및 예측기술 개발이 활발히 진행중에 있다. 이는 국제공동해양순환 연구를 통해 KOGA 해역과 우리나라의 해양 기인 재해간의 상관관계를 조명함으로써 기후 변화 감시 및 재난 관리 대책 수립에 필요한 기초를 제공함에 목적이 있다. 이 해역에 설치되어진 해양관측 부이 시스템을 소개하면 [그림 3-3-27]과 같다. 향후 외해 양식시설 환경모니터링 시스템으로 활용가능한 계류시설로 생각할 수 있다.

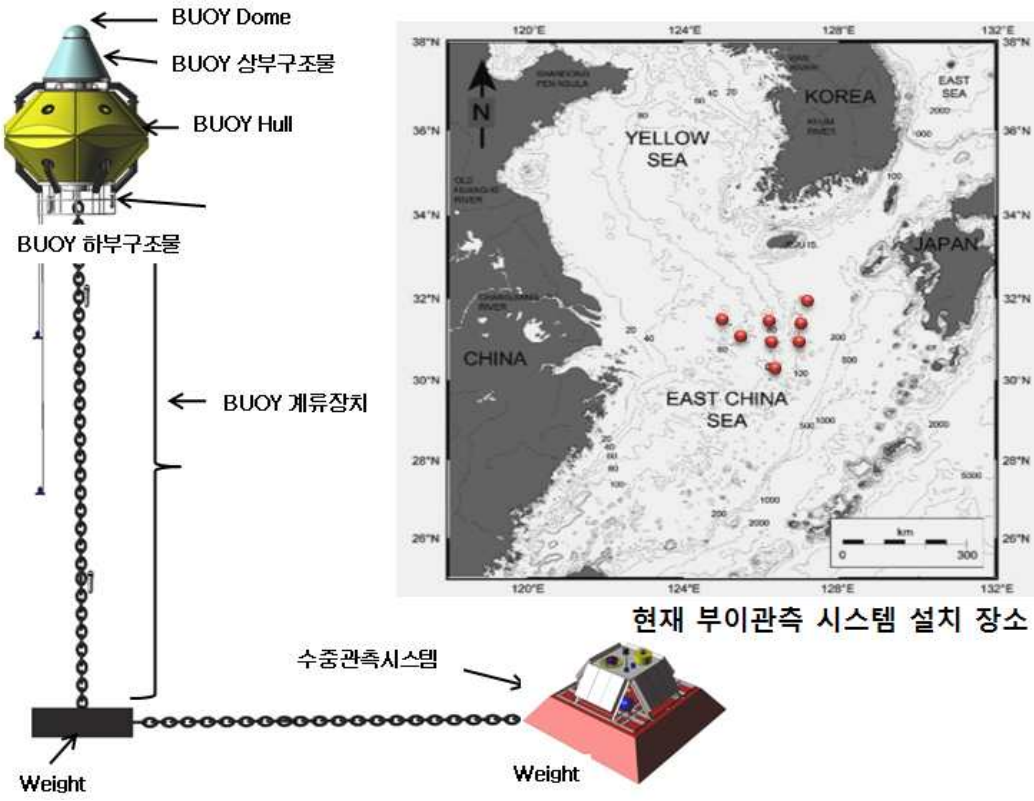
아울러 [그림 3-3-28]은 해양환경 관측부이를 이용한 외해 양식시설 환경모니터링 구축 개념도를, [그림 3-3-29]는 수중의 다층 구조 관측을 위한 환경모니터링 구축 개념도를 나타내고 있다.



- 부이 H/W
  - 독립적임 부력재의 조립 형태로 구성
  - 밀폐형태의 상부 구조물을 이용 외력에 의한 파손 방지
- 센서
  - 센서별 개별 보호 및 취부 구조물 제작
  - 각종 케이블 보호용 배관 파이프 설치
  - 이중 수밀 처리 이용한 센서 연결

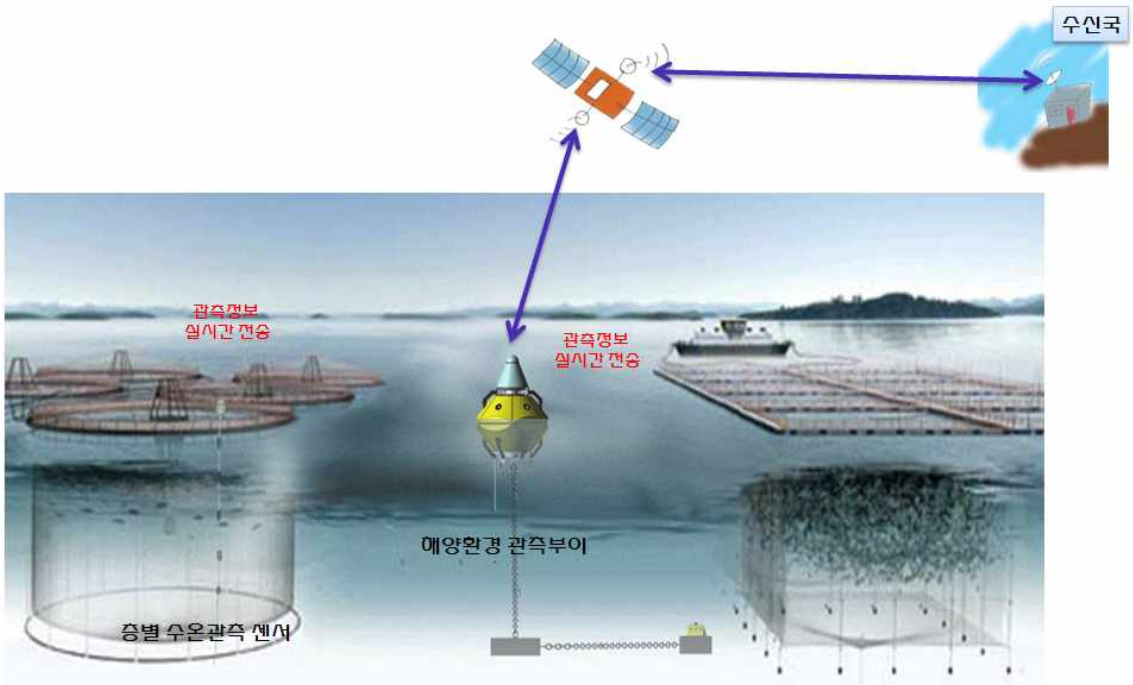


- TRBM
  - 침추와 일체형으로 구축
  - 그물 등의 외력에 저항
  - 부력재를 이용하여 자제 회수 가능
- 센서
  - 수평 유지 장치를 이용한 센서의 자체 자세 보정
  - 이중 회수 장치 설치
  - 음파를 이용한 추적 장치 구축
  - 수중 음향 통신 환경 구축

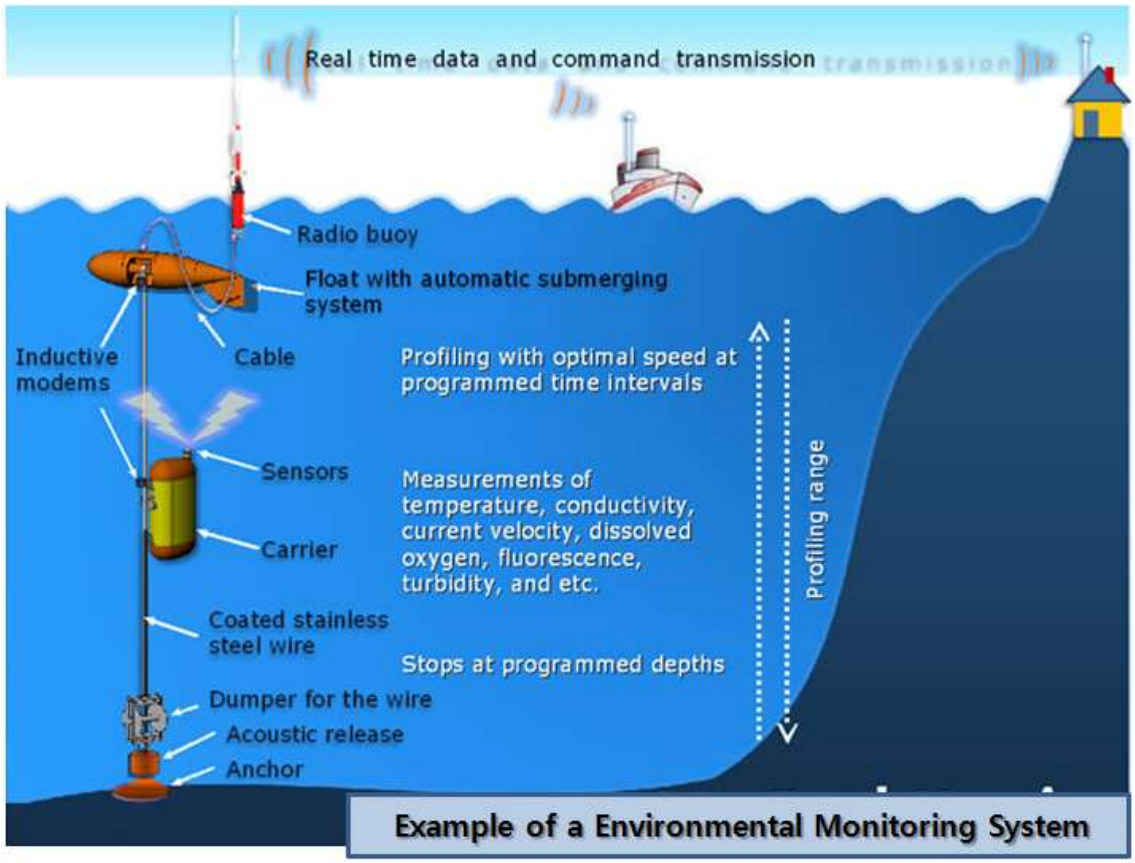


현재 부이관측 시스템 설치 장소

[그림 3-3-27] KOGA 해역에 시설된 해양관측부이 시스템.



[그림 3-3-28] 해양환경 관측부이를 이용한 외해 양식시설 환경모니터링 구축 개념.



[그림 3-3-29] 수중의 다층 구조 관측을 위한 환경모니터링 구축 개념.

3. 유비쿼터스형 양식장 실시간 감시 기술개발 기반연구/개념설계

가. 해양환경 관측모니터링 시스템 사례조사

(1) 실시간 해양관측 기술 기본 개념

실시간 해양관측시스템은 해양기상관측 요소, 파고 및 조위 관측 요소, 해양환경 관측요소 등을 관측하는 센서, 센서들을 동작을 제어하고 센서에서 출력되는 실시간 자료를 분석 가공하는 데이터로거, 분석 및 가공된 자료를 실시간으로 전송하는 통신 모듈, 광역 이동 통신망을 통해 전송된 자료를 DB화하는 서버 컴퓨터로 구성된다.

또한 본 시스템은 현장시스템의 제어(샘플링 주기, 전송 주기, 시스템 리셋, 서버 컴퓨터 IP주소 설정 등)가 필요할 경우 관리자가 원격으로 현장시스템에 접속하여 제어할 수 있는 양방향 통신이 가능한 시스템이다. 서버컴퓨터로 전송된 자료는 DB구축과 인터넷 서비스는 물론 개인 휴대폰으로 자료 확인이 가능하도록 무선 인터넷 서비스도 제공하게 된다. 시스템의 개념은 다음 [표 3-3-9]와 같다.

[표 3-3-9] 실시간 해양관측시스템의 구축과 기능

구분	기능
관측센서	풍향, 풍속, 온도, 습도, 기압관측, 조위, 파고 관측, 염도, 수온 관측
데이터로거	센서자료의 획득, 저장, 통계적 분석, 서버컴퓨터와의 통신, 현장 시스템의 제어
서버용 컴퓨터	현장자료의 송수신 및 제어, DB구축, 인터넷 및 WAP 서비스 구축

(2) 국내외 해양환경 관측 모니터링

최근 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 90년대 초부터 국가차원의 통합적인 해양관측망 구축 계획을 수립하여 실행단계에 있고, 이에 따라 실시간 현장모니터링, 원격탐사기술, 해양모델링, 자료동화(Data Assimilation), 해양자료관리 등을 통합하여 해양정보지원시스템을 운용하고 있으며, 사용자에게 실시간으로 필요한 정보를 생산제공하는 체제를 갖추고 있다[6].

최근에는 해양수치모델링 및 원격탐사기술의 발달로 넓은 범위의 해양에 대한 간접적인 정보제공이 가능해 졌고, 해양 선진국에서는 실시간 관측시스템과 수치모델, 원격탐사기술[7], 인터넷 등을 연계 및 종합하여 주요 해양환경요소의 시공간적 변화를 효과적으로 모니터링하고 예보 정보를 수요자에게 제공함으로써 연안개발, 자연재해, 해양환경보전, 해양사업 지원 등에 대한 근본적인 대책을 마련하고 있다[6].

최근 우리나라도 현장에서 무인 작동/지속적으로 실시간 또는 준 실시간으로 관측하는 국가해양관측망 기본계획(실시간 해양관측 계획)을 마련하였다. 실시간 해양관측 시스템이란 실시간해양관측(모니터링), 자료통신(전송) 및 자료관리, 자료분석(수치모델링 포함)의 3개 서브시스템의 통합시스템을 말한다. 통합된 국가실시간 해양관측망 구축을 위한 단계는 다음과 같이 기술할 수 있다.

(가) 연구사업(Research projects): 관측(플랫폼, 센서, 측정 프로토콜, 자료전송), 자료관리와 통신, 분석(모델과 알고리즘) 기술들의 개발

(나) 시험사업(Pilot projects): 운용시스템의 잠재적인 요소들 또는 연구개발기술들이 일련의 범주내의 조건들을 통해서 반복적으로 시험됨. 여기서 문제점들을 보완하고, 어떻게 이들이 적용될 수 있을지에 대한 보다 나은 이해를 얻게됨.

(다) 시험운영사업(Pre-Operational projects): 연구와 운용그룹은 시험사업으로부터의 운영시스템으로 새로운 기술을 적용하고 이 적용이 보다 비용 효율적이거나 기존의 능력을 향상시키도록 협력.

(라) 정상 운영시스템(Operational system): 사용자 그룹에의해 구분된 형식으로 루틴한 (일상의) 그리고 지속적인 자료 생산과 자료 성과품의 생산이 수행됨. 이 단계는 임시운영에서 성공적인 요소들의 합동을 통해서 개선됨.

[그림 3-3-30] 실시간 해양관측망 구축계획.

나. 양식시설 환경 모니터링 기술자료의 수집분석 및 실태조사

(1) 국내 통영 양식시설 환경모니터링 사례

연안일대에서 행하여지고 있는 종래의 양식은 과밀 경향을 띠고 있어 그로 인하여 양식어의 성장률 저하, 어병 발생, 적조 발생 등 양식과 관련된 많은 문제가 야기되고 있고, 이른바 환경 오염과 함께 어장노화현상이 급진전되고 있다.

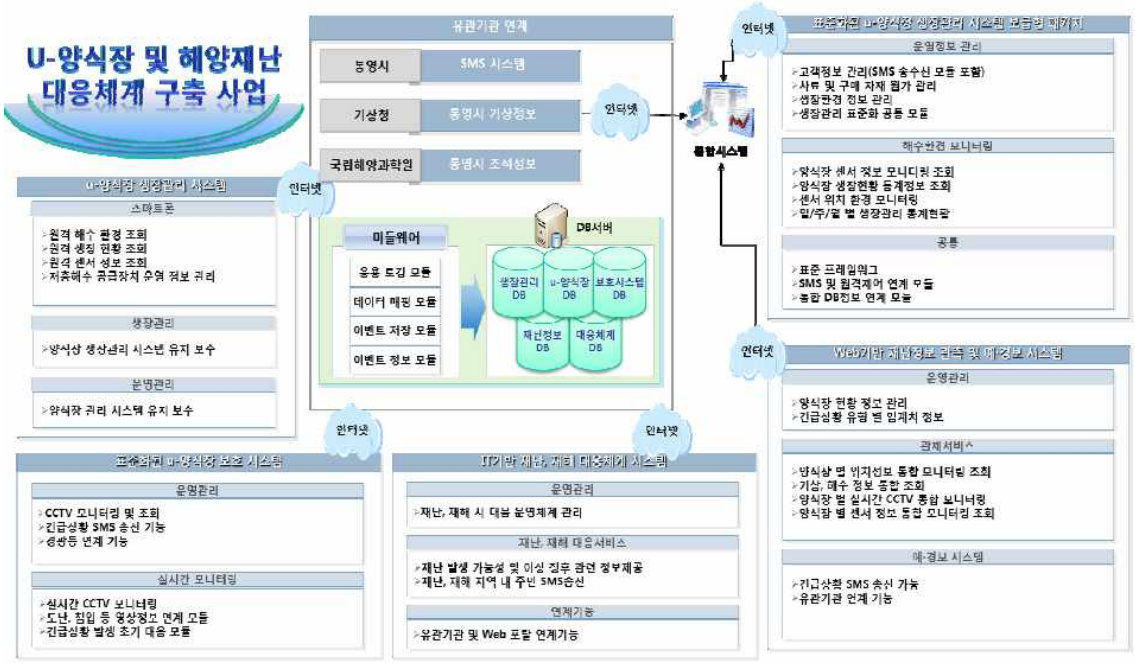
이러한 측면에서 최근 통영 연안일대를 중심으로 활어양식수산업 경쟁력 강화와 적조·도난·어류폐사위기등 위급상황발생시 신속한 대응체계 마련을 위하여 정부시범 지정과제로 선정 추진한『u-양식장 및 해양재난 대응체계 구축』사업이 완료되었다. 이의 주요 사업내용으로는 비록 어류를 대상으로 하나, 최근의 양식시설 환경 모니터링의 추세 및 기술수준을 평가하고 향후 외해 양식시설 추진시 대안을 도출하기 위한 사전 조사로 충분히 평가할 가치가 있다고 판단된다.

상술한 사업의 주요 사업내용을 살펴보면 양식장 내 생장관리프로그램 개발, 보안관제용 CCTV 및 각종 센서 등 장비 설치, 스마트폰을 이용한 모니터링 프로그램 개발에 초점을 두고 있다. 아울러 양식장내 해양환경 모니터링을 위해 수질측정(수온·용존산소량)센서 1식, CCTV 4식, 동영상 녹화장비 1식, 생장관리프로그램 운영PC 1식, 침입감지장비, 경광등, 무선인터넷장비 1식 등을 설치하였다.

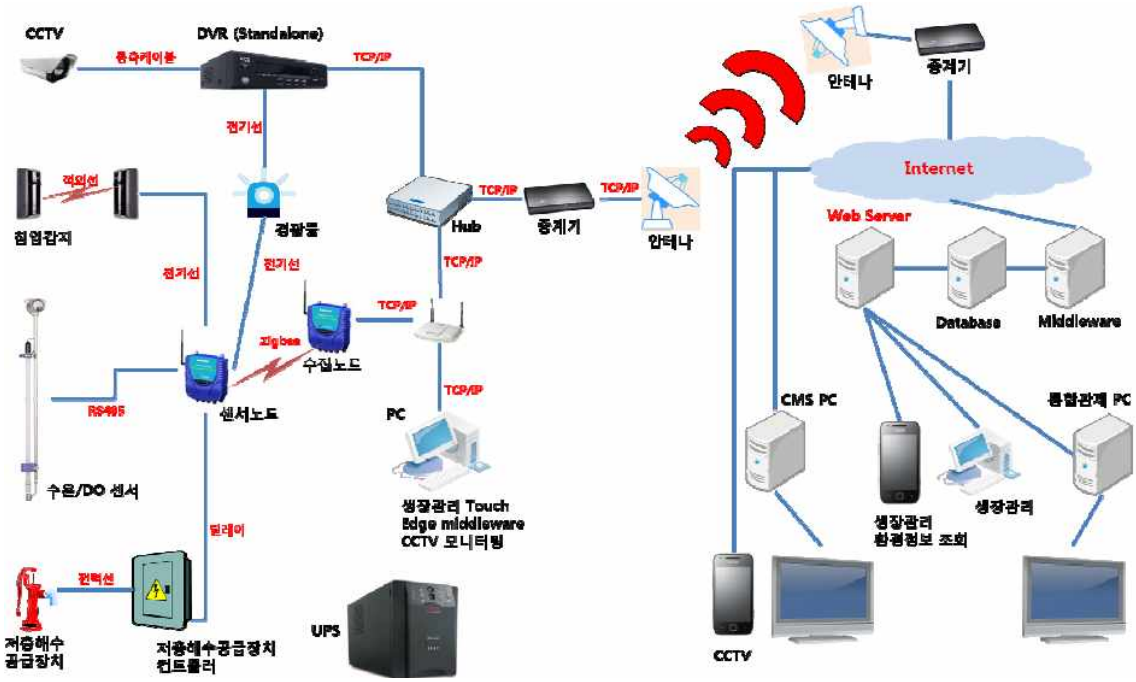
[그림 3-3-31]은 통영 일대 양식시설 환경 모니터링 시스템 구축 개념도를, [그림 3-3-32]는 모니터링 시스템 설치 장면을 나타낸다. 그리고 [표 3-3-10]은 통영 양식시설 실시간 해양관측시스템의 사례에 대한 외해 양식시설로 적용할 경우에 대한 문제점 및 대안을 분석한 결과를 제시한 것이다. 결과적으로 전원공급/장치, 시스템 설치공간, 무선통신 거리, 기상DATA 획득, 계측장비 안전성의 문제를 극복해야할 것으로 판단된다.

(2) 국외 독일 North Sea의 Wind farm-mariculture integration

해조류 재배와 메탄 발효에 의한 에너지 변환의 검토 예로서는 1970년대의 미국에 있어서의 Giant Kelp의 해양농장계획이 유명하다. 이는 생육이 좋은 Giant Kelp를 영양염이 풍부한 심층수를 용승시켜 재배하고 혐기성 발효에 의해 메탄을 얻는 것이다. 시험농장은 남 캘리포니아의 Laguna beach 먼바다 25마일 259㎢에 걸쳐 Giant Kelp를 한그루/9㎡의 밀도로 해조류 부착구조물에 붙여 심어서 수심 152m에서 용승류를 일으켜 재배하는 방식이다. 하지만 이 Giant Kelp의 해양농장계획에서는 메탄 발효에 관해서는 상당히 실용적인 수준까지 개발이 진행되었으나, 특히 Giant Kelp의 재배, 수확의 비율이 문제가 되어 주로 비용상의 문제 때문에 본격적인 사업화는 실현되지 못하고 있다[8].



(a) 전체 시스템 구성도



(b) 하드웨어 및 네트워크 시스템 구성도

[그림 3-3-31] 통영 일대 양식시설 환경 모니터링 시스템 구축 개념도.

(a) 통영 천일수산

(b) 통영 호림수산

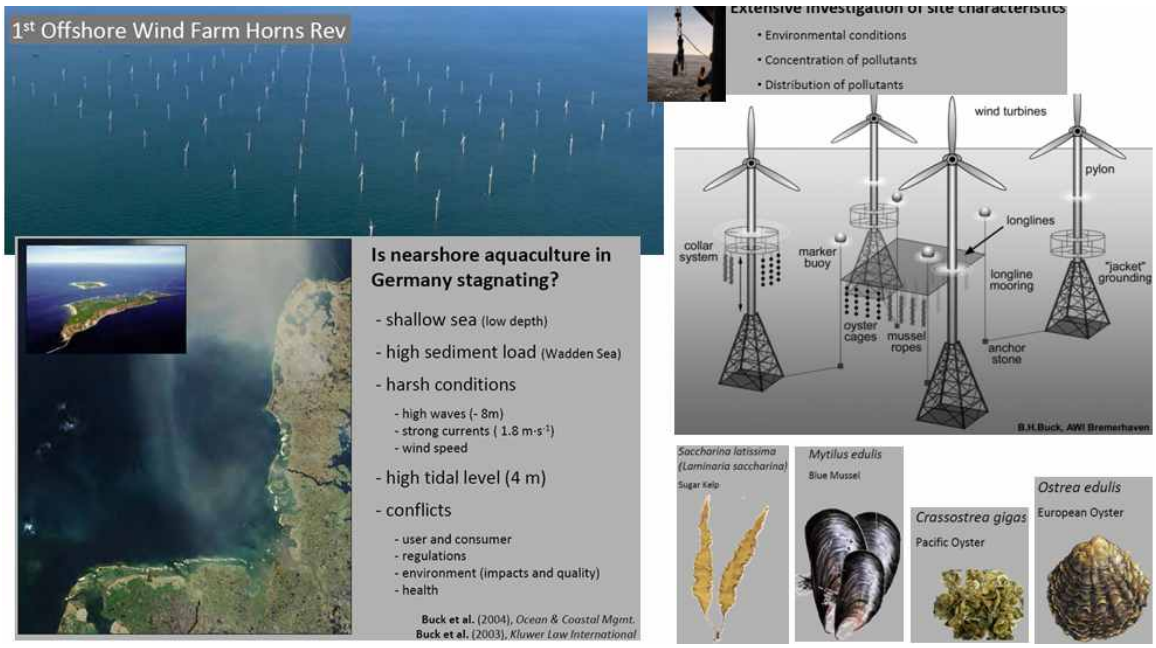
[그림 3-3-32] 통영 일대 양식시설 환경 모니터링 사례.

[표 3-3-10] 통영 양식시설 실시간 해양관측시스템의 사례 분석 결과

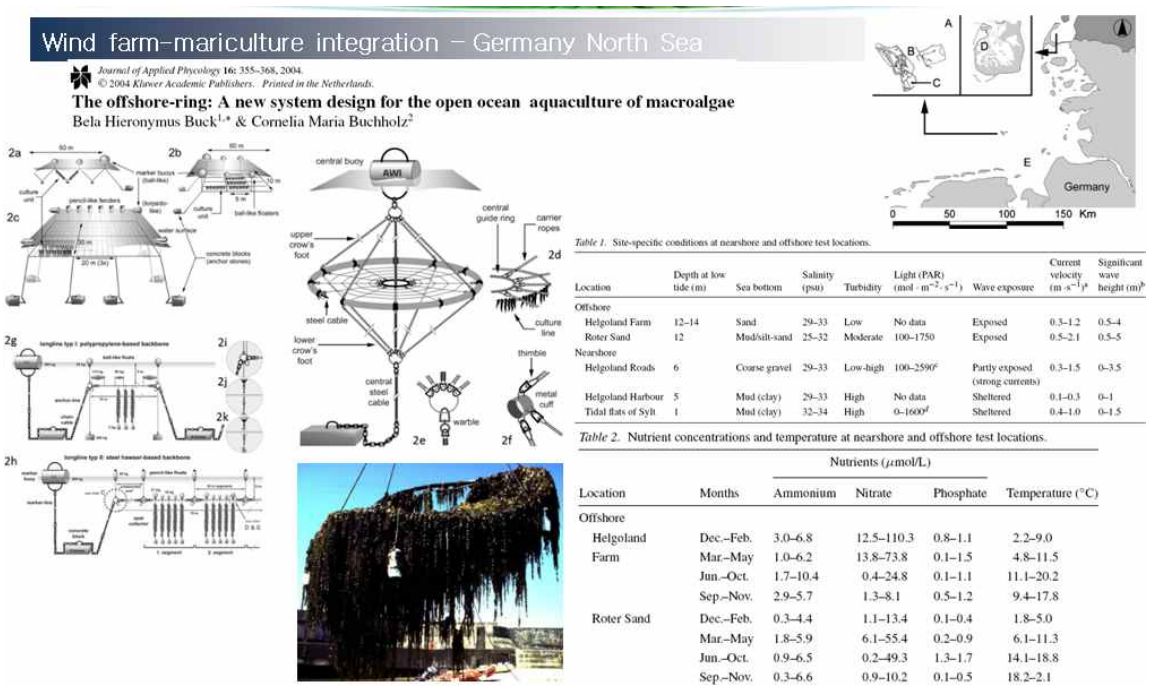
내용	외해 양식시설 적용 한계	외해 양식시설 적용방안
전원공급 /장치	**• 연안 어류양식장의 경우 380V의 육상 전원공급 상태** - 외해 양식시설의 경우 전원공급의 한계점	**• 양식시설물 전원공급 방식 선정** - 자체 전원공급 방식일 경우 태양열, 조류력, 풍력 또는 Battery 등 다양한 방식에 대한 검토 요구됨
시스템 설치공간	**• 모니터링 시스템 설치 공간으로 현장 시설 이용** - 어류양식장의 경우 부표식 양식장 뗏목(먹이창고 또는 작업자 거주 공간)을 이용하여 시스템 공간을 조성함	**• 모니터링 시스템 설치 공간(현장 시스템 관리실)의 필요** - 외해 해조류의 경우 시스템 설치공간이 부재하므로 이에 대책 요구됨
무선통신 거리	**• 양식장과 육상간의 무선 통신** - 현재 설치 장비로는 최대 4km, 최적 2km이내에서 무선 통신이 효과적으로 작동 - 안테나간 거리가 멀어질 수록 전파 산란에 의해 송수신 효과가 떨어짐	**• 외해 양식장의 무선 통신 시스템 설계** -시설 적지 선정에 따라 현재 설치 장비의 적용 여부 판단가능 -원거리일 경우 위성을 이용한 통신 시스템 설계가 요구됨
기상 DATA 획득	**• 기상인자획득 장비설치는 기상청의 인가조건에 해당함** - 기상관측(기온, 풍향풍속, 강우 등) 장비설치/DATA이용시 기상청의 허가사항	**• 향후 외해 환경모니터링 인자 선정시 기상인자에 대한 인가조건 검토 요함** - 기존 기상관측망자료와의 비교에서 신뢰도 확보 요구됨
계측장비 안전	**• 해상 조건상 전자장비의 침수/부식에 따른 대책** - 사소한 부분이라 할 수 있으나 전체 시스템에 영향을 미칠 수 있음	**• 해상 조건상 전자장비 침수/부식에 따른 대책** - 방수 및 방식에 대한 대책(노하우)이 요구됨

하지만 최근 해상 풍력 발전시설에 양식 개념을 도입함으로써 다목적으로 해조류를 재배하고 이로부터 다량의 해조류를 생산하기 위한 노력이 경주되고 있다. 세계의 풍력 발전용량은 1998년-2002년의 5개년간에 네 배가 되어 년간 평균 32% 증가하고 있는 세계에서 가장 급성장하고 있는 에너지원이라고 말할 수 있다. 2003년말의 나라별 도입용량에서는 독일이 14,612MW로 1위, 스페인이 6,420MW로 2위이며, 이하 미국(6,361MW), 덴마크(3,076MW), 인디아(2,125MW)의 순이었다. Noth Sea에서 추진되는 독일의 Wind farm-mariculture integration는 그 좋은 사례라고 할 수 있다.

하지만 현재 개념도입 및 Test단계에 해당하며 소규모 해조류 양식시설을 개발하고 이를 평가하는 수준에 해당한다([그림 3-3-33]).



(a) 해상 풍력발전시설과 외해 양식시설 개념도



(b) 해조류 양식시설 현장 모니터링 결과

[그림 3-3-33] 독일 North Sea의 Wind farm-mariculture integration 모니터링 사례.

다. 외해 양식시설 환경의 무선 통신 시스템

(1) 실시간 해양관측 시스템의 기본 개념

해양관측 시스템은 기본적으로 무선 인터넷을 이용한 실시간 모니터링 시스템으로서 그 과정을 간단히 요약하면 다음과 같다.

실시간 해양관측시스템은 해양기상관측 요소, 파고 및 조위 관측요소, 해양환경관측요소 등을 관측하는 센서, 센서들의 동작을 제어하고 센서에서 출력되는 실시간 자료를 분석, 가공하는 데어터로거, 분석 및 가공된 자료를 실시간으로 전송하는 통신 모듈, 광역이동 통신망을 통해 전송된 자료를 DB화하는 서버 컴퓨터로 구성된다[그림 3-3-34].

또한 본 시스템은 현장시스템의 제어(샘플링 주기, 전송 주기, 시스템 리셋, 서버 컴퓨터 IP주소 설정 등)가 필요한 경우 관리자가 원격으로 현장 시스템에 접속하여 제어할 수 있는 양방향 통신이 가능한 시스템이다. 아울러 서버컴퓨터로 전송된 자료는 DB구축과 인터넷 서비스는 물론 개인 휴대폰으로 자료 확인이 가능하도록 무선 인터넷 서비스도 제공하게 된다.

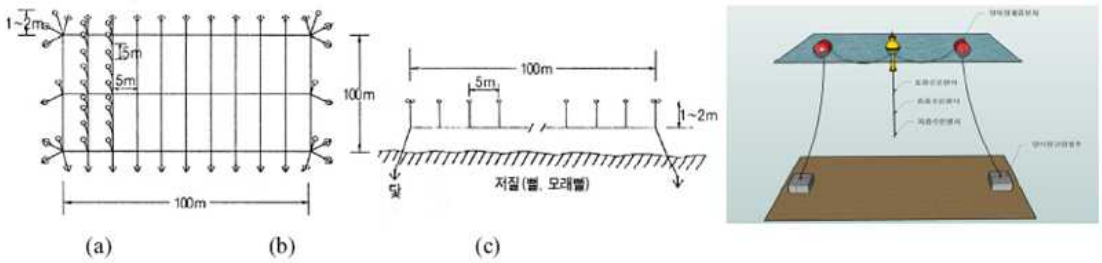


Fig. 2. Schematic diagram of standard long line hanging aquaculture farm from MEHRD, 2002 (a: ground plan, b: side view) and mooring of the system (c).

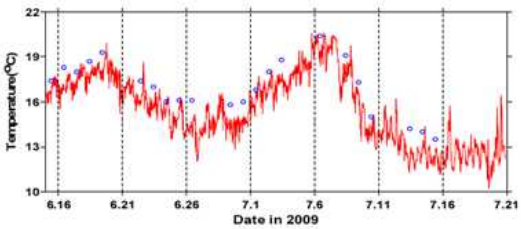


Fig. 4. Time series of seawater temperature off Gijang in Korea obtained by real-time oceanographic information system for long line hanging aquaculture farm. Open circles indicate seawater temperature off Gijang in Korea obtained by coastal oceanographic observation.

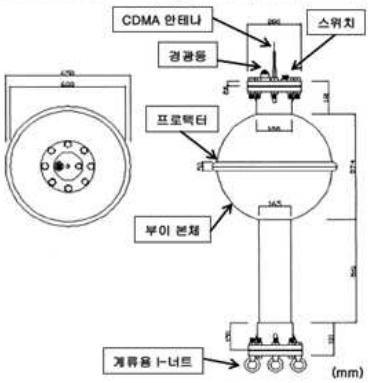


Fig. 1. Buoy structure of real-time oceanographic information system for long line hanging aquaculture farm.

[그림 3-3-34] 수하식 양식장용 실시간 해양환경 관측시스템 구축 사례.

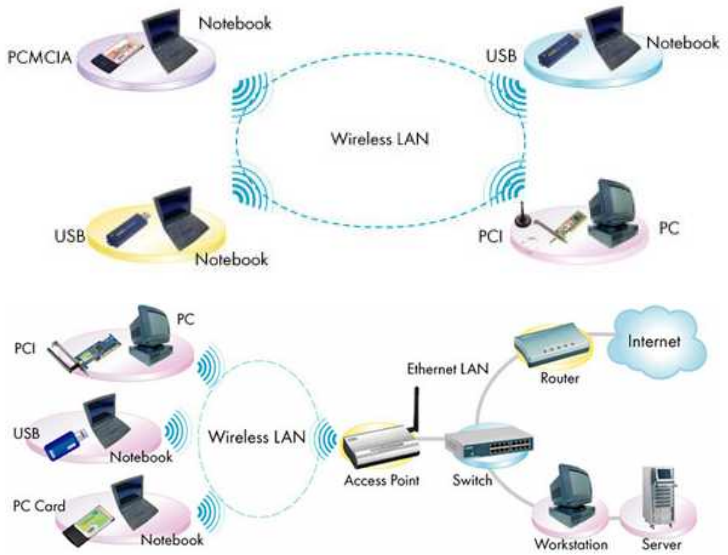
(2) 원거리 해상 전송 시스템

해상 외해 해조류 양식시설 환경모니터링 시스템으로부터 측정되는 각종 환경 데이터 및 영상 데이터 등을 빠르고 정확하게 원거리의 모니터링 컴퓨터로 전송하기 위해서는 무선 통신망 구축이 필수적이다.

최근 국내·외에서 외해 양식장의 필요성이 대두됨에 따라 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이와 더불어 외해 양식장의 원격 모니터링 시스템의 필요성도 크게 대두되고 있다. 현재 국내에서 외해 가두리 양식장 시스템에 대한 연구는 국립수산과학원을 중심으로 활발하게 진행되고 있으나 원격 모니터링 시스템 부분은 CDMA를 이용하는 위성통신 부분이나 VHF/UHF를 이용한 무선 통신방법이 주를 이루고 있다. 그러나 국외에서는 외해 양식장에 수중카메라 시스템을 도입하고 WLAN 등을 이용한 영상 감시가 가능한 모니터링 시스템 구축을 시도하고 있는 추세이다.

일반적으로 데이터 통신을 할 때는 대부분 데이터 통신 전용망을 이용하는데 이러한 망을 통신망이라고 하며 이는 거리에 따른 망의 분류로는 근거리 통신망(LAN), 도시권 통신망(중거리 통신망, MAN), 원거리 통신망(WAN)으로 구분된다.

무선 LAN (Wireless LAN)이란, 케이블 대신 전파(RF)나, 빛(적외선) 등을 이용하는 네트워크 구축방식으로 Hub에서 Client까지 케이블의 연결 없이 무선으로 LAN 환경을 구현하는 것을 일컫는다[그림 3-3-35]. 이러한 무선 LAN은 LAN 설치 및 네트워크 구축이 용이하며, 케이블 배선이 필요 없고, 추가 단말기 설치가 간편하며, 특정 어플리케이션의 요구에 쉽게 부응할 수 있으며, 유선 네트워크와의 통합성이 우수하며, 장기적으로 유지 보수가 비교적 편한 장점을 가지나, 유선 LAN에 비하여 속도가 느리고 한정된 주파수만을 지원하는 단점을 가지고 있기도 하다.



[그림 3-3-35] 무선 LAN(Wireless LAN) 시스템의 일반적인 사용례.

현재 주로 사용되는 무선 LAN 전송 전파기술은 RF방식으로 크게 확산 대역 방식과 협대역 마이크로웨이브 방식으로 나눌 수 있으나, 도달거리, 성능, 보안성을 고려하여 ISM band를 이용하는 확산 대역 방식의 무선 LAN이 가장 보편화 되어 있다.

광역통신망라고도 불리는 원거리 통신망(WAN, Wide Area Networks)은 근거리 통신망(LAN) 또는 중거리 통신망(MAN)을 다시 하나로 묶는 거대한 네트워크로서, 하나의 도시, 나라, 대륙과 같이 매우 넓은 지역에 설치된 컴퓨터들 간에 정보와 자원을 공유하기에 적합하도록 설계한 컴퓨터 통신망이다.

그러나, 현재 해상 통신에서 주로 사용되고 있는 VHF, UHF 등의 단파 통신이나 CDMA, Inmarsat 등의 사용에는 나름대로 장단점이 있음을 알 수 있다. 단파 통신의 경우 근거리 통신 시스템으로 외해의 특성을 고려하면 한계가 따른다. 또한 CDMA과 같은 경우에는 고비용의 사용료를 지불하는 통신 방법을 사용함에 경제성에서 다소 떨어지는 단점이 있다. 본 과제의 특성을 고려하여 보다 안정적이며, 보다 경제적인 데이터 통신망의 선정이 요구된다고 할 것이다.

최근 차세대 네트워킹을 주도하고 있는 무선 LAN은 사용자들에게 높은 이동성과 편이성, 구축 용이성, 확장성을 제공함으로써 기존 LAN의 보완 및 대체를 통한 효율성 및 생산성 제고 축면에서도 널리 사용되고 있다. 이러한 추세를 반영하고자 최신 기술을 해양환경에 접목하여 보다 성공적인 연구과제가 수행될 수 있도록 하고자 한다.

(3) 무선 LAN 기술

무선 LAN은 협대역(Narrowband) 마이크로웨이브, 적외선(Infrared), 그리고 확산 대역(Spread Spectrum)을 기반으로 한 기술을 사용한다. 확산 대역과 협대역 무선 LAN은 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 대역을 사용하며, 적외선 LAN은 가시광선 바로 아래의 주파수 대역을 사용한다. 신호를 확산하는 확산 대역 방식을 사용할 경우 많은 주파수 대역을 사용하게 되어 그 효율은 떨어지지만 안정성과 신뢰성을 유지할 수 있기 때문에 현재 많은 상용화 제품이 확산 대역 전송 기술을 사용한다.

(가) 협대역 마이크로웨이브 방식

마이크로웨이브 주파수 대역은 스펙트럼 상에서 라디오파와 적외선의 중간에 위치하고 있다. 일반적으로 고수파를 사용하면 저주파보다 넓은 대역폭을 쓸 수 있으므로 이더넷(Ethernet)의 데이터 전송율(10Mbps) 정도의 성능을 지니는 LAN을 구현할 수 있다. 18 GHz나 19 GHz 주위의 주파수를 사용하는 마이크로웨이브 LAN은 미국의 FCC(연방통신 위원회)나 영국의 DTI(영국 통산성)가 요구하는 가장 높은 주파수 대역에서 동작한다. 대부분의 경우 마이크로웨이브는 전자기적 스펙트럼 상에서 높은 주파수를 사용하기

때문에 직진성 기반의 기술이다. 그럼에도 불구하고 이 대역을 사용하는 전자기적 장비가 거의 없어서 간섭이 없다는 장점이 있다. 무선 채널에서 제공되는 물리적 연결성이 간헐적이라는 점이 무선 매체의 가장 두드러진 특징이다. 그 반면에 유선 매체는 연속적인 물리적 연결성을 유지해 준다. 마이크로웨이브 주파수대에서는 사무실 또는 공장에서 움직이는 사람이나 장비에 의한 신호의 블로킹이 간헐성의 주요 원인이다.

(나) 적외선 방식

적외선 파장은 8300 Å(angstrom) 정도로서 가시광선 파장과 비슷하며 특성도 거의 비슷하다. 즉, 적외선은 장애물을 만나면 신호가 완전히 약해져 버리는 직진성을 가지며, 주파수가 낮은 전파보다 더 잘 반사되는 성질을 갖는다. 이러한 특성은 단점이 될 수도 있는 반면에, 전자기적 간섭에 강하며, 반사 특성으로 말미암아 적외선이 딱딱한 표면에 반사될 수 있는 개방된 사무실 환경이나 바다 표면의 반사 특성이 강한 해상에서는 통신망 상의 모든 스테이션에 신호가 쉽게 도달할 수 있으므로 장점이 될 수도 있다.

신호를 적외선으로 전송하는 데는 두 가지 방식이 있는데, 레이저를 사용하는 것과 LED를 사용하는 것이 있다. 레이저를 사용하는 경우는 적외선을 매우 밀집된 빔으로 전송하며 변조가 용이하다. 레이저 적외선은 10 mile까지 도달할 수 있어서 실외에서의 응용에 적합하다. LED는 레이저보다 강도가 약하지만 시스템을 구현하기가 비교적 쉽고 경제적이다. 비록 도달 범위는 짧지만, 무선 LAN 같은 실내의 응용에는 이상적이다. 적외선을 전송하기 위해서 사용되는 매체는 자유 공간이기 때문에 대기의 환경이 신호에 영향을 준다. 이 문제는 실외의 개방된 대기에서는 예민하지만 LAN과 같이 실내에서는 중요하지 않다. 햇빛에 직접적인 노출은 전송단에 영향을 줄 수 있으므로 전송단이 남쪽의 창문을 향하지 않도록 한다. 레이저 적외선 LAN은 직진성을 요구하기 때문에 개방된 사무실 환경이나 광학적으로 투명한 유리로 구분된 환경에서 효과적일 수 있다. 이제까지 이 방식은 전자기 간섭이 적고, 인가가 필요 없으며, 속도가 빠르다는 장점에도 불구하고 신호가 물체를 통과할 수 없어 제한된 범위에서만 동작된다는 단점으로 말미암아 인기를 별로 끌지 못하였다.

(다) 확산 대역 방식

확산 대역 기술은 1940년대부터 연구가 시작되었으며, 장거리 데이터 통신에 관련된 다중경로 문제를 해결하기 위해 제안된 이래로 강력한 비화성과 간섭, 방해에 강하다는 특징 때문에 군용으로 널리 이용되고 있다. 1960년대 이후에는 비동기로 다중 접속이 가능하다는 점에서 위성간의 통신 방식에도 이용되고 있으며, 무선 LAN 및 이동통신 등에서도 사용되고 있다.

확산 대역 방식은 자연적으로 생기는 잡음이나 고의적인 전파 방해 같은 간섭에 강하다. 하지만 이 의미는 단지 탐지당할 확률이 적다는 것이며, 안전한 데이터 전송 환경을 완벽히 보장하지는 못한다. 만일 확산 대역을 사용해도 신호가 탐지된다면, 암호화 기법을 사용하여 데이터를 안전하게 전송할 수 있다.

이와 같은 장점으로 인하여 1985년 FCC에서 ISM 대역으로 허가 받지 않고 사용할 수 있는 확산 대역 방식을 인가함으로서 무선 LAN 시스템에 본격적으로 적용되게 되었다. 인가가 필요 없는 ISM 밴드 대역 애에서 2.4 GHz 주파수대는 여러 제조업체들에게 유용하게 사용되고 있다. 이 주파수대는 무선 LAN에 있어서 편리하고 빠른 속도를 보장할 수 있는 가히 혁신적인 기회를 제공하고 있다. 특히 우리나라에서는 902 MHz대가 이동통신 영역으로 사용되고 있기 때문에 2.4 GHz대의 사용은 필연적이다.

확산 대역 방식은 전송하고자 하는 정보를 필요한 대역폭에 비해 훨씬 넓은 대역폭으로 신호를 송신하고, 수신측에서는 원래의 정보 대역폭으로 수신된 신호를 복원하는 방식으로, 이 협대역 신호와 광대역 신호간의 변/복조가 이 방식의 핵심 기술이다. 확산 대역 방식의 특징은 다음과 같다. ㉠ 사용자를 적절히 할당하여 스펙트럼을 공유함으로 다중 접속이 가능하다. ㉡ 원래의 정보 대역폭에 비해 넓은 대역폭 사용한다. ㉢ 전력 스펙트럼 밀도가 낮기 때문에 신호 은닉이 가능하여 보안성을 높여준다. ㉣ 다른 사용자의 고의적인 전파 간섭에 대해 강하다. ㉤ 다중 경로 효과로 인하여 지연된 신호에 대한 자체 방어가 가능하다.

확산 대역 기술은 직접 시퀀스 확산 대역(Direct Sequence Spread Spectrum, DSSS) 방식과 주파수 도약 확산 대역(Frequency Hopping Spread Spectrum, FHSS) 방식으로 분류할 수 있다. DSSS 방식은 데이터 대역폭보다 훨씬 넓은 대역폭으로 원래의 신호를 변조하여 확산시킨다. FHSS 방식에서 데이터는 프로그램된 순서나 랜덤한 시퀀스에 의해서한 주파수에서 다른 주파수로 이동하며, 수신단에서는 주파수가 이동하는 상황을 파악하고 있어야 한다. 이 기술은 상당히 안전하지만 수신단과 송신단이 정확히 동기가 맞아야하므로 구성하기가 복잡하여 가격이 좀 더 비싸진다. 하지만 이 방식은 DSSS 방식보다 간섭 현상에 대해 강하다는 장점을 지니고 있다.

(라) DSSS와 FHSS 방식의 비교

DSSS와 FHSS 방식은 기술적으로 상호 보완적인 장단점을 가지고 있다. 그러므로 두 방식의 장단점을 열거해 보는 것이 DSSS 방식과 FHSS 방식을 비교하는 가장 좋은 잣대가 될 것이다. FHSS 방식은 무선 LAN 구현에 핵심적인 기능 및 속성의 측면에서 DSSS 방식에 비하여 다음의 여러 가지 우수한 성능을 보이고 있다. ㉠ 외부로부터의 방해에 대한 저항력 ㉡ 다중경로(multipath) 간섭현상에 대한 저항력 ㉢ 전체적인 망 성능 - 이론

적으로는 DSSS 방식보다 3배 이상 뛰어나다. ㉣ 통신망 확장성(Scalability) 및 이동성(Mobility) - 여러 개의 AP(Access Point)를 설치하여도 로밍(Roaming) 능력과 동기화 능력이 뛰어나서 망구조를 쉽고 간편하게 변경시킬 수 있다. ㉤ 성능의 지속성 - 대규모 통신망 상이라도 성능의 저하와 간섭 현상이 발생하지 않는다. ㉥ 보안 - DSSS에 비해 상대적으로 보안성이 뛰어나다.

[표 3-3-11] 무선 LAN 기술의 비교

기술	확산 대역	협대역 마이크로웨이브	적외선
방법	스테이션들은 데이터신호를 확산 대역변조를 하여 넓은 주파수 대역을 전송한다.	스테이션들은 데이터 신호를 여러 특정 주파수 중 하나의 좁은 주파수 대역으로 전송한다.	스테이션들은 데이터 신호를 적외선 빔으로 전송한다.
장점	보안성이 강함. 사물투과 가능.	사물 투과 가능. 동일지역서 복수 LAN 공존 가능.	속도가 가장 빠름. 신호간섭 문제없음. 복수 LAN 동일 지역서 공존 가능.
단점	속도가 다소 느림.	잡음과 간섭에 의해 주파수 이용 효율이 낮다.	전달 범위가 작다. 사물 투과성이 없음.

[표 3-3-12] DSSS와 FHSS 방식의 비교

방식	장점	단점
DSSS	· 우수한 잡음과 잼 방지 성능을 가지고 있다. · 가로채기가 어렵다. · 다중경로(Multipath: 신호가 여러 경로로 분산되어 도달하는 효과) 교과가 강력하다.	· 상대적으로 작은 위상 왜곡과 함께 큰 대역폭 채널을 필요로 한다. · 긴 PN(Pseudo Noise) 코드 때문에 오랜 포착시간(Acquisition Time)을 필요로 한다. · Near-to-far problem이란 여러 송신기 중에서 수신기에 보다 가까운 송신기의 과도한 전력이 신호를 파괴하는 효과를 일컫는다.
FHSS	· 방대한 양의 확산을 제공한다. · 스펙트럼의 분할을 피하기 위한 조정이 가능하다. (예를 들어, 다른 시스템에 넘기거나, 주파수 선택성 페이딩의 적용을 받을 수 있다) · Chip rate가 현저하게 적기 때문에 상대적으로 짧은 포착 시간을 요구한다. · DSSS가 가지고 있는Near-to-far problem에 영향을 받지 않는다.	· Hop을 생성하기 위한 복잡한 주파수 합성기가 필요하다. · 에러 보정이 필요하다.

그러나 여러 기술적인 방면의 우수성을 떠나서 2.4 GHz대의 802.11b 무선랜에서는 쉽게 통신거리를 연장할 수 있는 DSSS가 주로 사용되었었다. IEEE에서 802.11이 처음 발표되고 출시한 제품들은 2Mbps의 전송속도를 가지고 있었으며 모듈레이션의 방식은 DSSS와 FHSS로 두 가지의 시그널 방식이 있었으나 현재 11Mbps의 802.11b는 모든 제조업체에서 DSSS방식을 지원한다. FHSS는 DSSS와 같은 전송속도일 때 전송거리가 짧아 경쟁력이 떨어지기 때문이다. 사용자들은 기술의 우수성을 가리기보다 사용자 입장에서 사용거리와 속도에 민감했기 때문이다. 그러나 블루투스에서는 FHSS를 채택하고 있어 나름대로 신호의 장점을 살리고 있다.

라. 원시 데이터의 영상처리 시스템

외해 양식시설 환경데이터 중에서 해상 및 수중 감시 시스템을 구성하기 위해서는 기본적으로 수중 카메라와 수중 카메라의 영상을 육상의 관리소로 전송하여 저장하는 시스템으로서 네트워크 비디오 서버(Network Video Server : NVS)이 확보되어야 한다. 이를 위한 구성 시스템을 다음과 같이 살펴보았다.

아날로그 CCTV는 1990년대 IT기술의 발전과 함께 아날로그 카메라로부터 입력된 영상을 캡처보드에서 디지털 이미지로 변환하여 HDD(Hard Disk Driver)와 같은 저장매체에 저장하는 장치인 DVR(Digital Video Record)로 발전하였다.

인터넷 환경과 네트워크의 발전으로 실시간의 영상을 원격지에서 보고자 하는 수요의 확대로 기존의 아날로그 CCTV시스템과 DVR시스템의 저장위주의 시스템은 네트워크화에 대응하기에 어려움이 있는 것이 사실이다. 이것이 네트워크 비디오 서버의 탄생 배경이라고 할 수 있다.

언제, 어디서나 인터넷환경에서 웹 브라우저만으로 별도의 소프트웨어 없이 설치된 장소의 실시간 모습을 지속적으로 보여 주는 장치를 네트워크 비디오 서버라고 한다. 구조적으로 살펴보면 다수의 네트워크 비디오 서버는 유무선 TCP/IP 네트워크나 ADSL모뎀에 직접 연결하여 사용할 수 있도록 LAN 포트를 기본으로 지원하고 아날로그 입/출력 단자가 지원되며, 별도의 음송과 Pan/Tilt/Zoom Connector와 Alarm Sensor 있는 장치로 구성되어 인트라넷이나 인터넷을 통해 경제적인 비용으로 영상자료를 이용할 수 있도록 지원한다.

또한, 네트워크 비디오서버는 여러 종류의 카메라와 DVD, 오디오 등 멀티미디어 장비와 계측기 및 제어장비와 결합하여 다양한 서비스를 제공해 줄 수 있는 장점을 가지고 있어 현재 이와 관련업체에서 개발이 활발히 진행 중이다. 기존의 아날로그 CCTV에서의 DVR로 발전하였으나 네트워크 비디오 서버는 디지털화와 IP 기반의 유무선 통신을 이용하여 더욱 확장성 및 포괄성 측면에서 유연하게 발전되고 있다.

마. 외해 양식시설 실시간 감시 시스템 구축 방안

최근 국내·외에서 외해 양식장의 필요성이 대두됨에 따라 많은 연구가 이루어지고 있으며, 이와 더불어 외해 양식장의 원격 모니터링 시스템의 필요성도 크게 대두되고 있다. 앞서 통영 양식장의 사례에서 살펴보았듯이 일반 환경 데이터 모니터링뿐만 아니라 영상 감시 시스템을 함께 연동할 수 있는 모니터링 체계를 구축하기 위한 방법에 대하여 조사, 해상 설치 등의 예비 실험의 수행이 요구된다고 할 것이다.

영상 감시 시스템을 무선으로 전송하기 위해서는 많은 양의 데이터를 빠르게 전송할 수 있어야 하고, 실제 외해 양식장에 적용하여 유지•관리가 용이하여야 한다. 그러나 육상용으로 연구, 개발되어 사용 중인 대부분의 무선 영상 감시 시스템은 시스템 구성 단가가 높고, 해상에서의 통신이 검증되지 않았으므로, 이를 보완하기 위한 연구가 필요하다.

(가) 육상 및 해상 감시시스템 비교

어장이 있는 해상은 육상과는 달리 감시시스템을 설치하는 데 많은 제약이 따른다. [표 3-3-13]은 육상과 해상의 원격 감시 시스템을 구성하는데 나타날 수 있는 일반적인 특징들을 나타내고 있다.

[표 3-3-13]에서 지적된 것처럼 해상에서 침입자 원격감시시스템을 구성하는 데에는 많은 제약조건이 따른다. 해상에 떠있는 양식어장의 상황을 레이더로 탐지하고, 탐지된 레이더 정보를 재차 원격감시 센터에 전송하여야 한다는 점에서 이용가능한 통신망의 제한이 따르고 고비용이 든다는 점이 있다.

(나) 기 제안된 레이더 감시시스템

최근 양식시설 감시 시스템 구축으로 레이더 감시 시스템에 대한 연구가 타 연구자에 의해 제안되었다. 본 연구는 이를 소개하고자 한다.

이는 복수개의 고급어패류 양식어장으로 구성되는 공동어장에 적용할 수 있는 레이더 감시시스템의 구성을 목표로 하고 있다. 전체시스템은 양식어장 탐지모듈, 레이더 탐지 및 신호처리부, 원격감시/경보/방어모듈로 구성된다. 공동어장을 입출입하는 작업선 또는 미확인 물표의 신원에 관한 정적상황(소유주, 선종, 선박고유번호 등)과 움직임에 관한 동적정보(거리, 방위)가 레이더 화면상에 표시된다. 레이더 영상의 동기, 방위 및 영상신호는 PC에서 처리 가능한 프로토콜로 변환을 통하여 원격지 PC 화면상에 표시 된다. PC 화면상에는 물표의 추적관리를 통하여 도적선 또는 작업선 여부를 확인한 후 도적선일 경우에는 자동경보와 동시에 유무선 인터넷에 의한 단문메시지를 통하여 해양경찰서, 어업지도선 및 경비업체에 연락하고 필요시에는 해군과 협동하여 방어할 수 있도록 구축

되어 있다.

어장작업선의 판별은 어장출입 작업선에서 가지고 있는 핸드폰으로부터 가입자 식별정보 및 위치정보가 이동통신망에 전송되어 PC에 수신되어 물표식별에 이용한다. 또한 PC상에서 추적되는 모든 물표들의 식별정보 및 위치정보는 일정시간 간격으로 데이터베이스에 저장되고, 조회검색이 자유롭게 이루어진다.

제안한 시스템을 구성하기 위하여 레이더 탐지능력 강화기술, 레이더 신호전송기술, 영상신호처리 기술, 통신망구성 기술, 사용자 인터페이스 환경 구현을 위한 소프트웨어 기술 등이 포함된다. 다음은 시스템의 성공적인 개발을 위하여 요구되는 세부기술들을 정의하고 주요내용을 정리하였다([표 3-3-14]).

제안한 시스템에서 사용하고자 하는 레이더는 X-Band(8GHz~12.5GHz) 레이더로서, 9.3GHz~9.5GHz사이의 주파수대는 국제전파규칙(RR : Radio Regulations) 및 대한민국 주파수 분배표에서 해상무선항행 및 무선표정 업무용(무선항행 이외의 무선표지 업무)(정보통신부)로 규정되어 있으며, 국내에서 실험국용, 무선표지설비 및 해상교통관제용으로 그 용도가 지정되어 있다(정보통신부). 또한 전파지정기준에 따라 정보통신부 고시 주파-93341-263(1995. 5. 23), 주파-93341-380(1995. 7. 21)에서 선반용 레이더로 명시하고 있다. 이러한 전파지정기준은 전파법(2000. 12. 29) 제21조 제2항 제1호에 따라 전파자원을 효율적으로 이용하기 위하여 무선국 허가시 주파수 지정 등에 관한 필요사항을 규정한 것이다(전파법, 2000). 양식어장 감시용으로 임의의 주파수대를 사용하고자 할 때에는 대한민국 주파수 분배표 및 전파지정기준상에 그 용도를 지정받아야 할 것이다.

[표 3-3-13] 육상 및 해상 감시시스템 비교

구분	특징
육상	· 이용할 수 있는 유무선 통신 인프라 설비가 많다. · 전원공급은 비교적 쉽게 이루어 질 수 있다. · 경찰청, 군부대 및 경비업체에 지원이 신속하게 이루어 질 수 있다. · 유무선 모두 이용가능하고 백업망을 구축하기 쉽다. · 해상에 비교하여 투자비가 적다.
해상	· 이용할 수 있는 통신망 인프라 설비에 제한을 받는다. · 백업망을 구성하기가 어렵다. · 해상에 설치되는 통신설비는 해수에 견딜 수 있도록 방부식성과 내구력이 뛰어나야 한다. · 전원공급이 육상보다 어렵다. · 주로 무선에 의존하여야 하고, 해상기상 상태는 전파환경에 커다란 영향을 준다. 게다가 해상의 기상변화는 육상의 기상변화보다 심하다. · 해상에서 움직이는 물표를 식별하기 위하여 레이더를 이용할 필요가 있다. · 수중감시 또는 야간감시를 위하여서는 고성능 감시 카메라를 이용할 필요가 있다. · 초기 투자비가 비싸다. · 도서지역이나 외지의 어촌의 경우 해상절도에 대응하기 위한 유관기관의 지원에 많은 시간이 소요될 수 있다.

[표 3-3-14] 레이더 감시시스템의 세부 소요 기술

대분류	소분류
레이더 탐지 능력강화 기술	○ 어장내 수동형 반사기의 설치를 통한 어장탐지능력의 중대방안 구현 ○ 근거리 물표 탐지능력 강화 기술 - 측엽(Sidelobe) 억제를 위한 전파흡수체 부가기법 - 최적 빔형성 알고리즘의 개발
레이더 신호 전송 및 변환기술	○ 레이더 신호의 저뇨송 및 영상변환 장치 구현 - 동기신호, 영상신호, 방위각 신호의 디지털 변환을 통한 레이더 영상변환
영상신호 처리 및 사용자 인터페이스 환경(GUI) 구축	○ 변환된 레이더 영상정보의 처리 - 물표추적 ○ 물표식별 정보 및 위치정보의 저장 ○ GUI 환경의 구현 - 레이더 화면의 주요기능 재현 - 물표식별 정보 (사용자 인식) - 어장상황 - 경보신호의 자동발생 - 단문메시지의 발생 등 외부 자동연락 상황 - ECDIS화면상의 매핑
원격감시 통신망 구성기술	○ 통신망의 종류 결정, 통신망의 구성도 작성 ○ 통신망의 최소 전송속도, 최대 지연시간 결정 ○ 백업망 구축 방안 마련

[표 3-3-15] 양식시설의 가격/성능을 고려한 실시간 감시 기술 개발 사례

종류	기능	핵심 구성 장치
A	- 저가, 소형, 아군 어선들 동태만 감시->식별->경보	- 900MHz F-AIS : 아군 선박식별 - 전자해도 모듈 : 아군만 전자해도에 표시
B	- 중저가, 물체 감시->추적->식별->경보->대응 - 기존 레이더 활용, 전자해도 상황표시 및 해경과 공조	- 900MHz F-AIS / 일반 어선용 Radar : 물체 탐지 - RSC : 레이더 영상을 전자해도에 오버래핑 - 전자해도 모듈
C	- ARPA/Radar 모니터에 추적결과 표시 - 단순하면서 정밀 추적 가능	- 900MHz F-AIS - APAR/Radar : 모든 물체 탐지 및 추적
D	- ARPA/Radar 정보 -> 전자해도 전송 - Full Mission	- 900MHz F-AIS - 전자해도 모듈
S	- 해경, 해군, 해수부 등에서 어장의 종합상황 시스템을 구성하는 경우 적용 - 네트워크를 통한 시스템	- 어장에 설치된 모든 장치로부터 정보 입수 - AIS Emulator : 선박에 설치된 AIS 정보를 입수하여 종합상황 시스템에 표시 기능

아울러 양식시설의 이동, 도난, 파손, 보안 및 원료 이송시스템의 원활한 기능 유지관리를 위한 실시간 감시 기술의 도입이 요구된다고 할 것이다. 이는 구축하고자 하는 시스템의 가격과 성능을 다양하게 반영할 수 있는 것으로 고려된다. [표 3-3-15]는 기 제안된 감시, 추적, 식별, 경보, 대응, 상황종합에 대한 시스템 사례를 나타내고 있다. 시스템 종류 'A' 와 'B'는 시스템을 저가로 개발하기 위하여 간단한 기능으로 구성한 것이다. 시스템 종류 ' C'는 중저가 시스템을 개발하는 경우를 나타내고, 시스템 종류 'D'는 전자해도와 ARPA/Radar 등의 첨단장비를 이용하여 모든 기능이 가능한 시스템 구성을 나타낸다. 시스템 종류 ' S'는 해양경찰이나 군용으로 사용하는 경우를 나타낸다.

4. 요약 및 제언

본 연구는 단기적 외해 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템 기술개발 및 현장 적용성을 평가하고, 최종적으로 우리나라 전해역에 대해서 해양외력환경이 열악한 외해 환경하에서 적용가능한 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발 매뉴얼을 도출하고자 하였다. 하지만 현재 외해 양식시설 적지선정 및 대량생산 시설물이 구상되지 못한 상황에서 세부적인 현장 중심의 연구결과를 도출하는 것은 현실적으로 무리라고 할 수 있다. 이러한 측면에서 본 연구는 향후 외해 해조류 대량양식 구조물 시설이 가상적으로 완공된 상황을 고려하여 예비 조사단계차원에서 양식시설 환경모니터링 시스템을 개념 설계하고자 하였다.

해조류의 외해 대량생산 기술 개발로의 발상전환에 따른 실시간 양식시설 환경모니터링 시스템 설계 및 개발은 크게 안정성 및 기능성, 경제성 확보가 담보되어야 하며 이를 목적으로 이루어져야 한다. 이를 위한 단계적 요소기술의 핵심적인 내용을 체계화하면 다음 표와 같이 나타낼 수 있다.

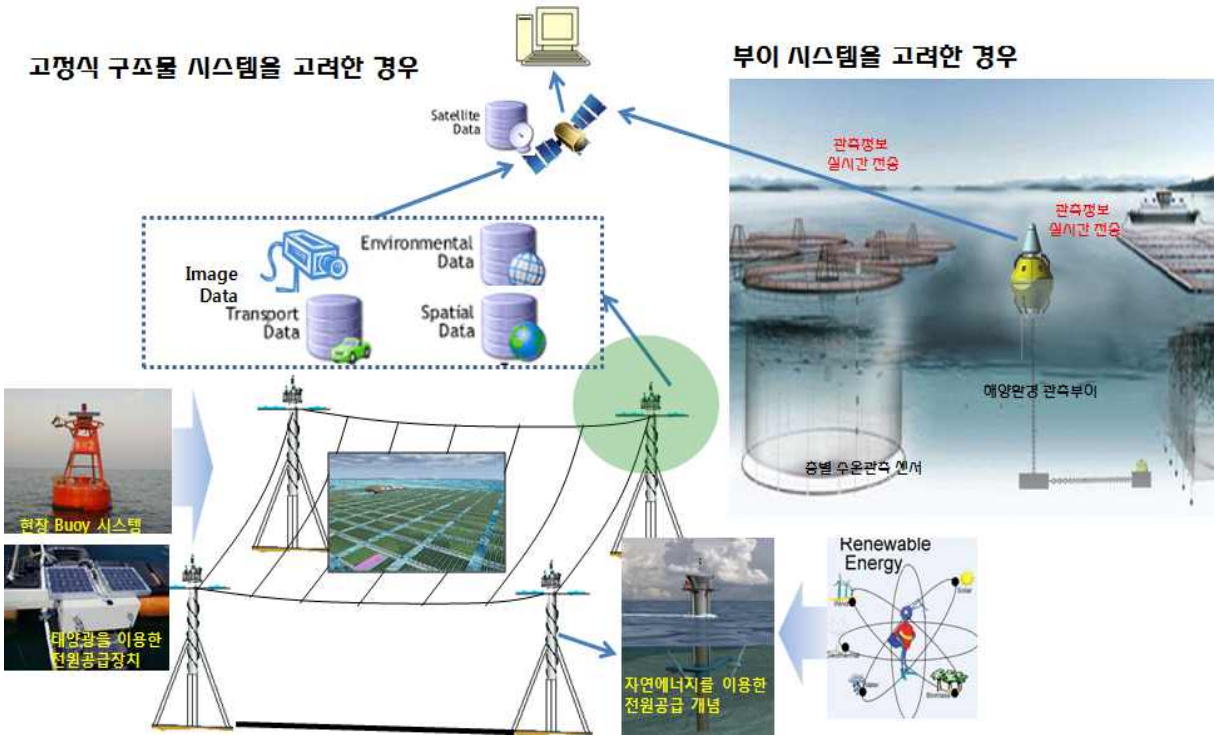
[표 3-3-16] 외해 대량양식 시설 환경모니터링의 기술체계

기본 설계 개념	외력조건	성능조건	최종 목적
Hardware(구조물)	외부조건 구조물하중설계 기초설계 계류시스템	외부조건 평가	안정성 확보
Software(모니터링 시스템)	안전/보호시스템	전원시스템 센서조립/설치 제어시스템 유지보수관리	기능성 확보
설계/시설비	비용최소화	설계최적화	경제성 확보

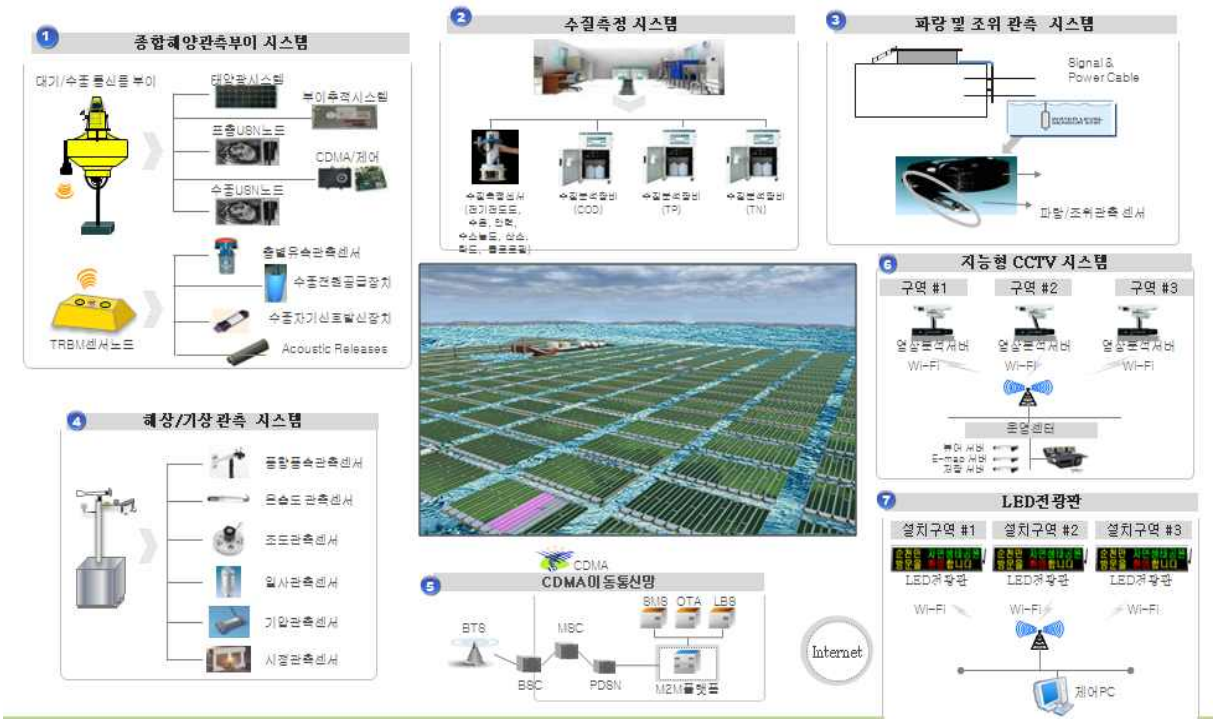
상술한 기술체계도를 바탕으로 각 요소에 대해 각각의 목적을 달성하기 위해 본 연구의 1차년도 연구추진 과정에서 현실적인 조건하에서 수행된 연구방법은 다음과 같다.

- 기존 자료 수집을 통한 해양 양식환경 모니터링 인자 파악 및 관측장비 현황 분석
- 우리나라 해역 실정을 고려한 외해 양식환경 모니터링 방향(구조 형식) 설정
- 대량생산 pilot 기반 외해 양식환경 모니터링 안정성 및 기능성 담보 설치 방안 제시
- 외해 양식시설 환경 모니터링 시설의 개략적인 설계 개념을 도식화하여 제시

최종적으로 본 연구의 1차년도 연구결과로 부터 외해 해조류 대량양식 구조물 시설 지역(양식시설 적지 선정지역)에 대한 양식시설 환경 모니터링 시스템의 연구 추진전략과 흐름을 수립하고, 양식시설의 안정성과 기능성을 평가하는 기술 개발에 초점을 둔 세부 전략 및 개념설계를 수행하였다. 외해 양식시설 환경 모니터링 시설의 개략적인 설계 개념을 도식화하여 제시하면 다음 [그림 3-3-36]과 같다. 이는 대량생산 pilot의 설계 형식에 따라서 고정식 구조물 시스템 또는 부이 시스템으로 구분하여 제안한 결과이다. 이에 대한 세부적인 시스템 구성 요소를 요약 정리하면 [그림 3-3-37]과 같다.



[그림 3-3-36] 외해 양식환경 모니터링 시스템의 시설 개념도.



[그림 3-3-37] 외해 양식환경 모니터링 시스템의 세부 구성 개념도.

결과적으로 외해 해조류 대량양식 환경모니터링 시스템은 해상에 고정식 또는 부유식(계류부이)으로 설치되어 있는 구조물에 내부 및 외부에 각종 모니터링 장비를 탑재하여 해중 및 해상 상태를 모니터링하고 이를 관리실 및 육상으로 무선 전송, 무선 전송된 해양환경자료 및 영상은 모니터에서 실시간으로 확인 가능한 시스템으로 구축하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이에 소요되는 공급 전원은 신재생에너지의 개념에서 태양광을 이용하거나 수중에 풍차를 설치하여 자가발전하는 시스템의 도입이 효과적이라 생각된다. 향후 이에 대한 보다 면밀한 검토가 2차년도에 구체적으로 제시될 것이다.

5. 향후계획

가. 환경모니터링 현장 실증 실험을 위한 연구추진 계획

연구 내용	향후 추진 일정 및 세부 내용
기장 현장 Video 설치협의	• Video 모니터링 시스템 설치 공간(현장 시스템 관리실) 협의 [그림 3-3-38] - 문동항 또는 동백소재 부경대 Campus 수산과학연구소 부재 활용 예정

[그림 3-3-38] 해조류 양식시설 현장 Video 모니터링 추진안(2차년도).

나. 양식시설 환경모니터링 시스템의 성격(목적) 결정 및 예비 실험

현재 1차년도 연구개발 내용중 양식시설 환경 모니터링에 대한 국내외 기술수준의 자료수집 및 정리/분석, 문제점 도출 및 해결방안 수립을 바탕으로 2차년도 연구단계에서는 본 시스템의 성격(목적)을 명확히하고 이를 현장 적용단계로서의 실증 실험을 수행하고자 한다. 이를 위해 임의 대상해역을 선정하고 단순화된 모니터링 시스템을 설치하고 이의 해양공학/해양환경공학/생태공학의 관점에서 시스템의 적용가능성을 평가하고자 한다.

제 4 장

해조류 바이오매스의 통합활용

제 1 절 건강신소재 개발

제 2 절 생물학적 전환공정 개발

제 3 절 난발효성 당류 대사형 재조합 미생물 개발

제 4 절 갯벌 유래 Metagenomic library로부터 저분자 당원 구조분석

제 5절 부탄올 생산 균주 및 발효공정 개발

제 4 장 해조류 바이오매스의 통합활용

제 1 절 건강신소재 개발

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

○ 바이오매스 에너지자원으로부터 생리활성물질 분리 및 구조 규명 ○ 해조류의 통합적 활용을 위한 생리활성물질의 대량분리조건 확립 및 건강 기능성 식품 소재화

(1) 저탄소 녹색성장의 핵심동력이 될 신재생에너지의 개발 및 수산해양 녹색산업 창출 그리고 기후변화협약 대응을 위하여 해조류 바이오매스의 그린에너지화 및 통합적 활용을 위한 부산물의 효과적인 활용에 기여

(2) 선진국의 경우 성별, 나이, 직업, 체형에 따라 기능성 물질의 선호도가 매우 다양하므로 다양한 생리활성 물질을 분리하여 이들의 기능성을 과학적으로 입증함으로써 맞춤형 건강 기능성 식품 소재를 개발하고자 함

나. 연구 내용

우리나라의 대표적인 갈조류인 다시마, 모자반 및 곰피의 저분자 생리활성 물질을 주정 (EtOH)로 추출한 후 *n*-헥산, 에틸아세테이트 (EtOAc), *n*-부탄올 (*n*-BuOH) 및 물 획분으로 분리한 후 각각의 획분 함량을 분석하였으며, 각각의 획분에 대하여 항염증, 항비만 효과를 규명함으로써 이들 생리활성물질들의 건강기능성 식품소재로 활용하기 위한 기초 자료를 확보하였다.

2. 연구 방법

가. 실험장치 및 재료

Rotar vacuum evaporator, 추출기, 대형 silica column, HPLC, CO_2 incubator, 전기영동장치, 무균 배양대, 액체질소탱크, 항온조, real-time PCR, 이미지 분석기, 형광 현미경, microplate reader (Promega), 건조 다시마 500 kg, 건조 모자반 10 kg, 건조 곰피 200 kg, MDA-MB-231 breast cancer cells, RAW 264.7 macrophage, HepG2 hepatoma cells, B16F10 melanoma cells (이상 ATCC), PCR용 primer (Bioneer), 2',7'-dichlorofluorescein diacetate (DCFH-DA), tacrine, dimethylsulfoxide (DMSO), lipopolysacharide (LPS) (이상 Sigma-Aldrich), luciferase assay kit, pRL-TK DNA, reverse transcriptase, CellTiter 96®AQ_{ueous} One Solution Cell Proliferation Assay kit (이상 Promega), penicillin, streptomycin, Dulbecco's Modified Eagle's 배지 (DMEM), Minimum essential 배지 (MEM), trypsin-EDTA, fetal bovine serum (FBS), sodium pyruvate, non-essential amino acid (이상 GIBCO-BRL), ELISA kits (PGE_2, IL-1β, IL-6, TNF-α, 이상 eBioscience), PARP, caspase-8, Bid, Fas, FasL, cytochrome c, COX-2, iNOS, NF-κB p65, IκB-α, phospho-Akt (p-Akt), Akt, phospho-ERK (p-ERK), phospho-JNK (p-JNK), phospho-p38 MAPK (p-p38 MAPK), tyrosinase, TRP-1, TRP-2, MITF, anti-rabbit 2 차 항체, anti-mouse 2 차 항체, anti-goat 2 차 항체 (이상 Santacruz), Cleaved caspase-3 (Cell Signaling Technology), PD98059, SP600125, SB203580, LY294002 (A.G. Scientific), ECL detection kit (GE healthcare).

나. 실험 절차

(1) 해조류 저분자 생리활성물질의 기능성 분석

(가) 항염증 활성

① 세포배양 및 세포독성 시험

RAW 264.7 macropage를 10% FBS가 함유된 DMEM 배지로 배양하였다. 분리물의 세포독성은 MTS kit (Cell Titer^{96} AQueous One Solution Cell Proliferation Assay Kit)를 사용하였다. 즉, well 당 10^5 cells 농도로 세포를 분주하여 24 시간 배양한 후 분리된 시료를 가하여 24 시간 배양한 후 95 ul의 배지와 5 ul의 MTS 용액을 가하여 1 시간 반응시킨 후 생성되는 formazan을 490 nm에서 흡광도를 측정하였다.

② 염증 매개인자 (NO, PGE_2) 분석

RAW 264.7 macropage를 5×10^5농도로 12-well plate에서 24시간 배양하였다. 배양된 세포에 각기 다른 농도의 분리된 시료와 1 ug/mL의 LPS를 가한 후 24 시간 배양하였다. 배양된 배지성분을 회수하여 배지중의 nitrite (NO)와 prostagrlandin E_2 (PGE_2)의 농도를 분석하였다. NO는 Griess 반응에 따라 분석하였다[1]. 즉, 100 ml의 세포배양액에 동일량의 Griess 시약 (0.1% naphtylethylenediamine dihydrochloride and 1% sulfanilamide in 5% H_3PO_4)을 가한 후 10 분 후에 540 nm에서 흡광도를 microplate reader로 측정하였다. PGE_2 농도는 PGE_2 ELISA kit (eBiosciences)를 사용하여 측정하였다.

③ 염증관련 cytokine의 분석

염증관련 cytokine (TNF-α, IL-1β, IL-6)의 분석은 ELISA kit를 사용하여 제조사의 manual에 따라서 측정하였다. 즉, 분리된 시료와 LPS로 처리된 RAW 264.7 macrophage를 6-24 시간 배양한 후에 배지 중에 분비된 cytokine을 ELISA 법으로 분석하였다.

④ Western Immunoblot

분리된 시료로 처리된 RAW 264.7 macrophage를 PBS로 2회 씻은 후 cell lysis buffer (50 mM Tris-HCl, pH 7.5, 150 mM NaCl, 1% Nonidet-40, 1% Tween-20, 0.1% SDS, 10 μg/mL leupeptin, 50 mM NaF, 1 mM PMSF)를 가하여 4℃에서 1 시간 방치하여 18,000 g에서 10 분간 원심분리하여 상등액을 얻었다. 일정량의 단백질 (20-40 ug)을 SDS-PAGE로 분리하여 nitrocellulose에 옮긴 후 1 차 항체, 2 차 항체로 순차적으로 반응시킨 후 ECL 화학발광 kit를 이용하여 특정 단백질의 발현을 확인하였다. 단백질은 iNOS, COX-2, ERK, pERK, p38, pp38, JNK, pJNK, pAkt, Akt, PI3K, NF-κB, IκB-α 등이다.

⑤ RNA분리 및 RT-PCR

세포내 total RNA는 RNeasy mini kit (Qiagen, USA)로 분리하였다. 분리된 total RNA 3 ug을 이용하여 ImProm Reverse Transcription System (Promega, USA)으로 cDNA를 합성하였다. 합성된 cDNA를 이용하여 RT-PCR로써 상대적인 mRNA 발현량을 측정, 분석하였다. House keeping 유전자는 GAPDH를 사용하였다. RT-PCR 대상 유전자는 COX-2와 iNOS이다. 전사수준에서 이들 유전자의 전사량을 측정함으로써 분리된 화합물에 의한 염증 유발 단백질의 억제가 전사 수준 또는 번역수준에서 억제됨을 알 수 있다. PCR에 사용된 Primer의 서열은 다음과 같다. COX-2 sense, 5'-CCT AGG CTT CAG CCT

CAC AC-3'; COX-2 antisense, 5'-CAG CCT AAT GTT CAG CGA CA-3'; iNOS sense, 5'-CAC CTT GGA GTT CAC CCA GT-3'; iNOS antisense, 5'-ACC ACT CGT ACT TGG GAT GC-3'; GAPDH sense, 5'-TGG CAC AGT CAA GGC TGA GA-3'; GAPDH antisense, 5'-CTT CTG AGT GGC AGT GAT GG-3'.

⑥ 염증관련 전사인자 활성분석

염증에 관여하는 주요 전사인자인 NF-κB의 전사활성은 NF-κB 결합부위를 함유하는 plasmid를 이용하여 분석하였다. NF-κB promoter를 함유한 pGL-2 vector를 세포에 lipofectamine을 이용하여 transfection 한 후 24 시간 동안 분리된 시료를 처리하여 8 시간 더 배양한 후 세포를 용해하여 20 ug 단백질과 substrate를 첨가하여 luminometer로 luciferase 활성을 측정하였다.

(나) 항비만 효과

① 세포배양 및 지방분석

섬유아세포인 3T3-L1 세포를 high glucose DMEM에 배양하여 세포가 100% confluent될 때까지 배양하고, 2일 후에 MDI를 처리하여 지방세포로 분화를 유도하였다. 분화 유도시 일정량의 시료를 처리하여 7-9 일 배양한 후에 지방세포로의 분화억제효과를 Oil-Red O로 염색한 후 현미경 관찰과 염색된 지방을 추출하여 500 nm에서의 흡광도로 분석하였다.

② 비만 관련 단백질 및 유전자 분석

3T3-L1 섬유아세포가 MDI 처리에 의하여 지방세포로로 분화시에 관여하는 전사인자인 PPARγ와 SREBP-1c와 같은 전사인자의 발현량을 시료처리 후 7 일째에 Western blot으로 분석하였다. Western blot 조건은 항염증효과시의 분석조건과 동일하며, 1 차 항체처리시의 조건은 항체에 따라 약간의 변화가 있다.

세포내 total RNA는 RNeasy mini kit (Qiagen, USA)로 분리하였다. 분리된 total RNA 1 ug을 이용하여 ImProm Reverse Transcription System (Promega, USA)으로 cDNA를 합성하였다. 합성된 cDNA를 이용하여 real-time PCR로써 상대적인 mRNA 발현량을 측정 분석하였다. House keeping 유전자는 GAPDH를 사용하였다. RT-PCR 대상 유전자는 PPARγ와 SREBP-1c이다. 전사수준에서 이들 유전자의 전사량을 측정함으로써 분리된 화합물에 의한 항비만 관련 단백질의 억제가 전사 수준 또는 번역수준에서 억제됨을 알 수 있다. PCR에 사용될 primer의 서열은 다음과 같다. SREBP-1c sense, 5'-TCA TGC CCT

CCA TAG ACA CA-3'; reverse, 5'-AGC TCA AAG ACC TGG TGG TG-3'; PPAR γ sense, 5'-CCC TGG CAA AGC ATT TGT AT-3'; antisense, 5'-GAA ACT GGC ACC CTT GAA AA-3'; GAPDH sense, 5'-TGG CAC AGT CAA GGC TGA GA-3'; antisense, 5'-CTT CTG AGT GGC AGT GAT GG-3'.

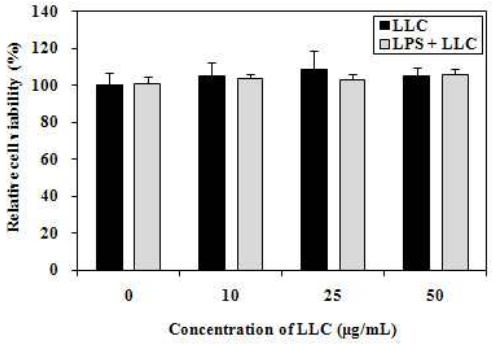
3. 연구수행 결과

가. 다시마로부터 분리한 lipophilic compound (LLC)의 항염증 효과

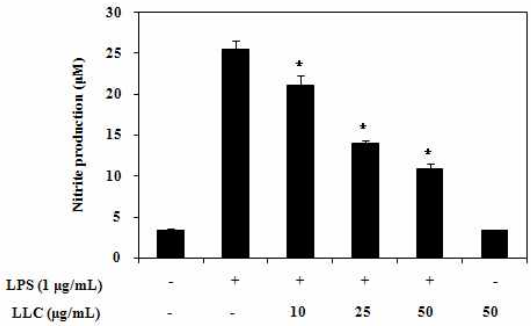
1) 다시마로부터 분리된 LLC의 항염증 활성

세포에서 염증반응이 일어나면 COX-2 효소가 발현되면서 아라키돈산을 PGE_2로 전환시키며 대식세포에서 생성된 PGE_2는 고통, 발열 등의 생리현상을 유발한다. 따라서 대식 세포외로 분비되는 PGE_2는 NO와 함께 염증 반응을 확인하는 지표로 활용된다[5-7].

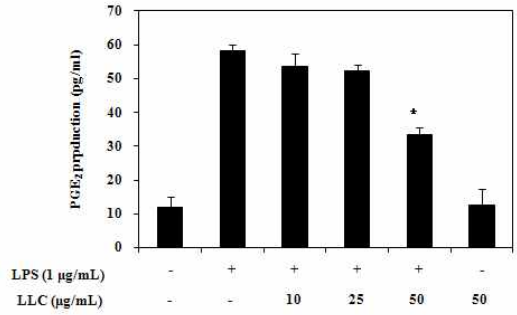
다시마로부터 분리된 LLC의 항염증 효과를 분석하기 위하여 LLC를 LPS와 함께 RAW 264.7 세포에 처리하여 실험하였다. 우선 LLC를 단독으로, 또는 LPS와 함께 RAW 264.7 세포에 처리하여 24 시간 배양한 후 세포 생존률을 확인하였다. 그 결과 LLC는 RAW 264.7 세포에 대하여 50 ug/ml의 농도까지 세포 생존률에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다([그림 4-1-1] 가). LLC의 항염증 효과를 확인하기 위하여 LLC를 LPS와 함께 RAW 264.7 세포에 처리하여 16 시간 배양한 후 배지내 nitrite와 PGE_2의 생성량을 각각 Griess assay와 ELISA kit를 사용하여 NO와 PGE_2의 생성 억제능을 분석하였다. 그 결과 LLC는 LPS에 의한 nitrite와 PGE_2를 농도 의존적으로 저해시키는 것으로 나타났다([그림 4-1-1] 나, 다). 이러한 결과는 다시마로부터 분리된 LLC가 LPS에 의한 염증 반응을 저해시킨다는 것을 나타낸다.



가



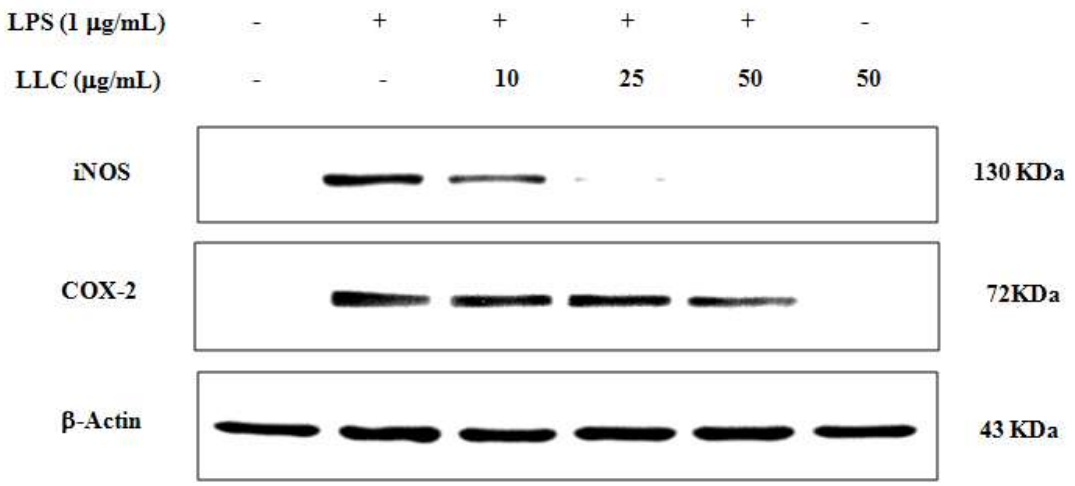
나



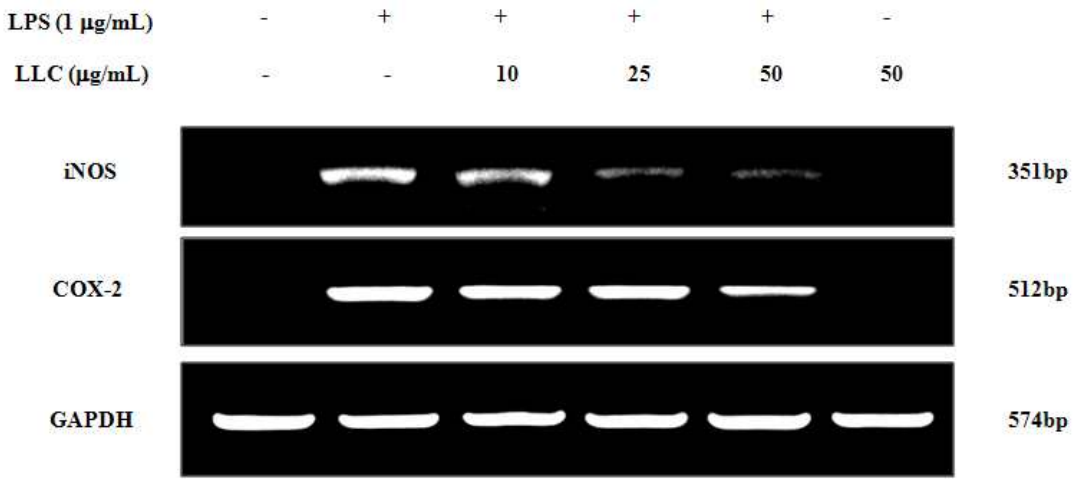
다

[그림 4-1-1] 다시마로부터 분리된 LLC의 항염증 활성. 가, 세포 생존률 분석; 나, nitrite 생성량 분석; 다, PGE_2 생성량 분석

다시마로부터 분리된 LLC의 항염증 기전을 확인하기 위하여 RAW 264.7 세포에 LLC와 LPS를 처리하여 16 시간 배양한 다음 단백질을 추출하여 Western blot으로 NO를 발생시키는 iNOS와 PGE_2를 생산하는 COX-2 효소의 단백질 발현 변화를 분석하였다. 그리고 RAW 264.7 세포에 LLC와 LPS를 처리하여 6 시간 배양한 다음 total RNA를 추출하여 RT-PCR로 iNOS와 COX-2 효소의 mRNA 발현 변화를 분석하였다. 그 결과 LLC는 LPS에 의하여 유발되는 iNOS와 COX-2 단백질과 mRNA의 과발현을 농도 의존적으로 억제시키는 것으로 나타났다([그림 4-1-2]). 이 결과는 LLC가 iNOS와 COX-2의 발현을 전사 단계에서 억제시킨다는 것을 의미한다.



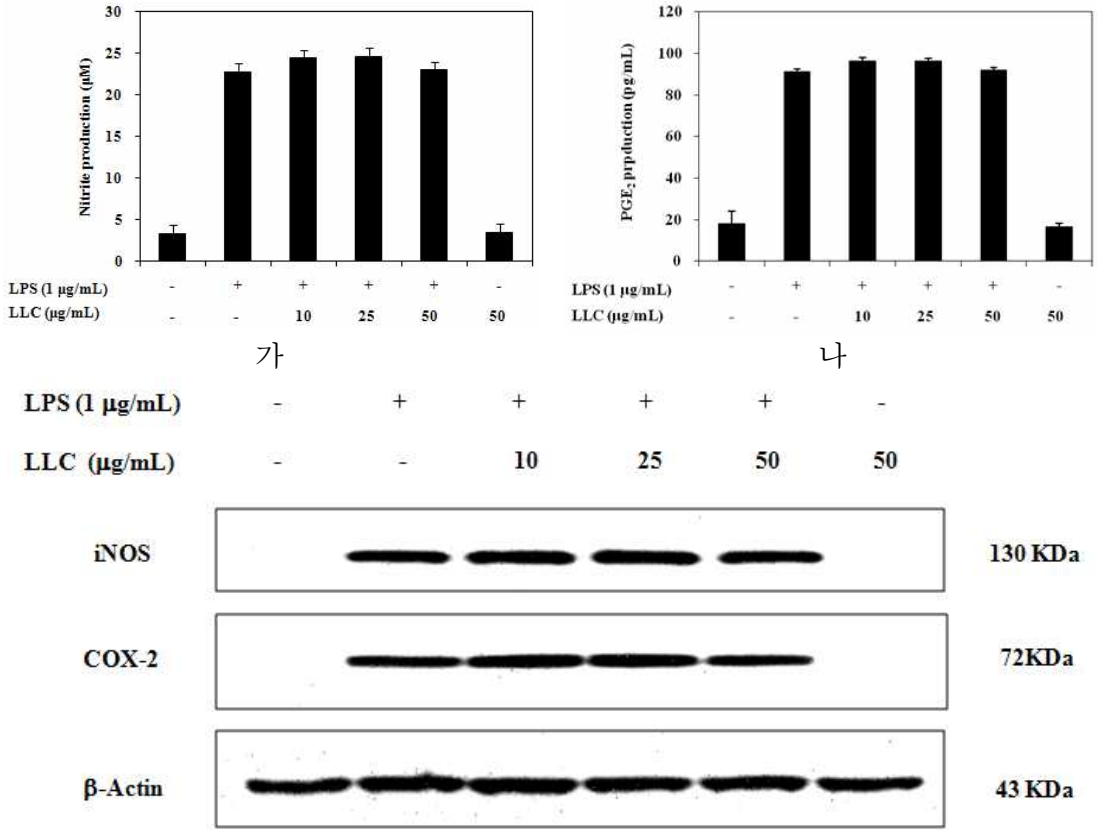
가



나

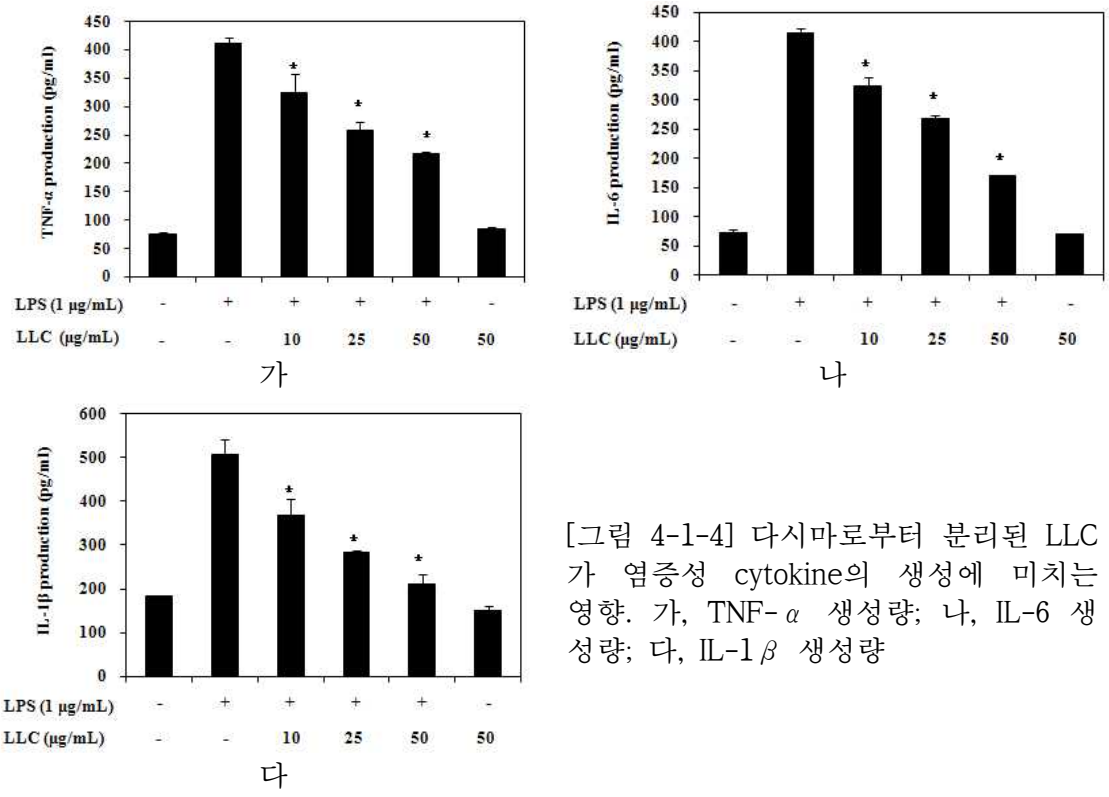
[그림 4-1-2] 다시마로부터 분리된 LLC의 iNOS, COX-2 효소 단백질 발현 저해 효과. 가, iNOS, COX-2 단백질 발현; 나, iNOS와 COX-2 mRNA 발현

다시마로부터 분리된 LLC의 iNOS, COX-2 발현 억제를 확인하기 위하여 RAW 264.7 세포에 LPS를 처리하여 12 시간 배양한 후 LLC를 처리하여 12 시간 배양하였다. 그 다음, 배양액을 회수하여 nitrite와 PGE_2 생성량을 측정하고 세포로부터 단백질을 회수하여 Western blot으로 iNOS와 COX-2 단백질의 발현을 분석하였다. 그 결과 LLC는 LPS에 의한 nitrite와 PGE_2의 생성에 영향을 미치지 않았으며 iNOS와 COX-2 효소의 과발현 현상에도 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다([그림 4-1-3]). 이러한 결과는 LLC가 iNOS와 COX-2 효소의 활성 저해나 단백질 단계에서의 파괴와 같이 직접적으로 영향을 미치지 못하며 LPS에 의해 활성화되는 기전을 통하여 항염증 활성을 가진다는 것을 의미한다.



[그림 4-1-3] 다시마로부터 분리된 LLC가 iNOS, COX-2 효소에 미치는 영향. 가, nitrite 생성량; 나, PGE_2 생성량; 다, iNOS와 COX-2 단백질 발현

Macrophage에서 LPS에 의해 염증 반응이 일어나면 여러 기전을 통하여 TNF-α, IL 등 염증 관련 cytokine이 발현되며 이는 염증 반응에 대한 민감 지표가 된다[3-6]. 다시마로부터 LLC를 LPS와 처리하여 24 시간 배양 후 상층액의 TNF-α와 IL-6, IL-1β를 ELISA assay를 통해 분석한 결과 LPS에 의해 다량 발생되는 TNF-α와 IL-6, IL-1β가 LLC에 의하여 농도 의존적으로 억제되는 것을 확인하였다([그림 4-1-4]). 이러한 결과는 다시마의 *n*-헥산 획분이 LPS에 의해 발생되는 염증 반응을 억제하여 염증성 cytokine의 발생을 효과적으로 억제시킨다는 것을 의미하고 있다.



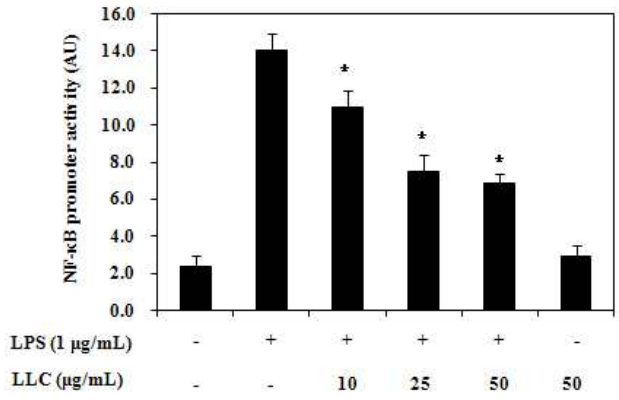
[그림 4-1-4] 다시마로부터 분리된 LLC가 염증성 cytokine의 생성에 미치는 영향. 가, TNF-α 생성량; 나, IL-6 생성량; 다, IL-1β 생성량

2) 다시마로부터 분리된 LLC의 항염증 기전

본 실험 결과를 통하여 다시마로부터 분리된 LLC가 LPS에 의한 nitrite와 PGE_2 생성, 그리고 염증성 cytokine의 생성을 저해시키는 것으로 나타났다. 그리고 이는 LLC가 iNOS와 COX-2 효소의 활성이나 단백질 수준에서의 분해 등 직접적으로 영향을 미치지 못하지만 각각 효소의 발현을 mRNA 전사단계에서 억제하여 염증 반응에 나타나는 cytokine 등의 생성을 저해시킨다는 것으로 확인되었다.

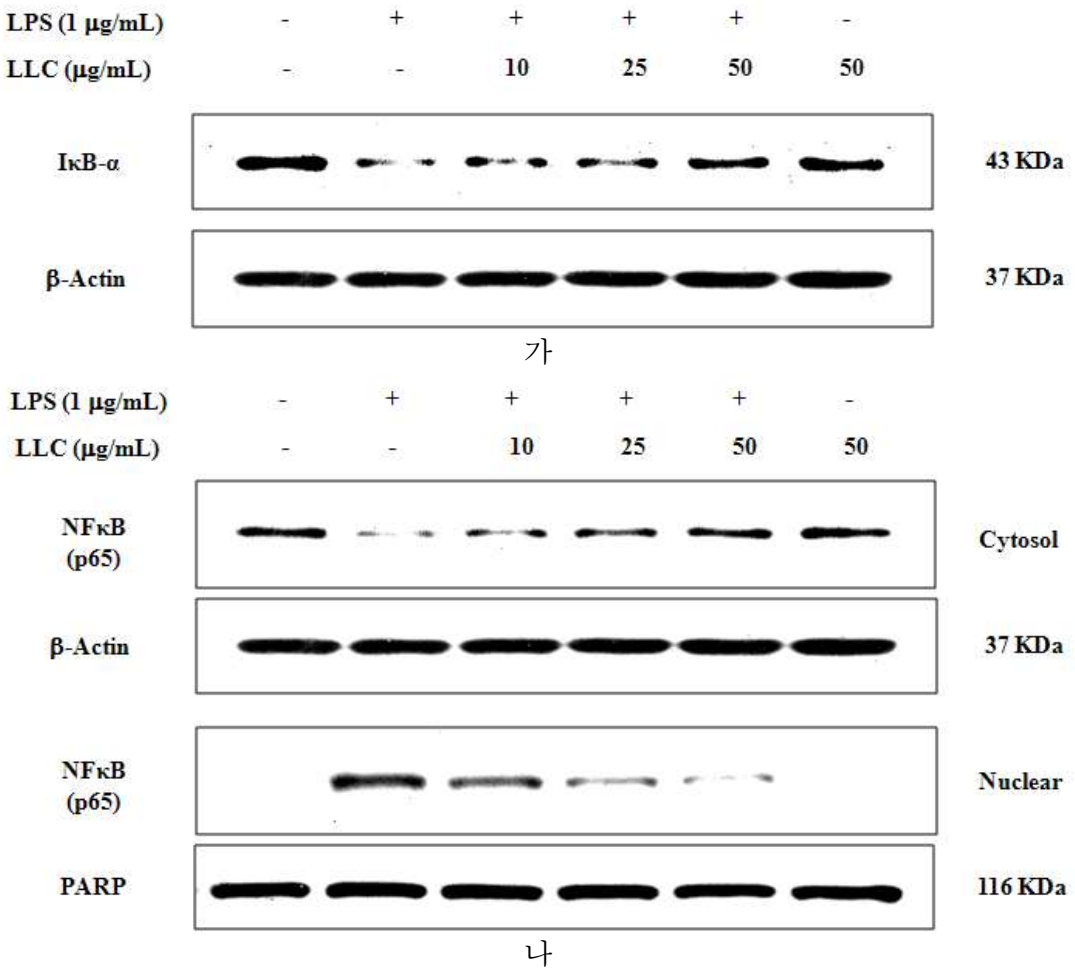
iNOS와 COX-2 등의 전사는 NF-κB, AP-1 등의 다양한 전사 인자들에 의해 조절되는 것으로 알려져 있다[8-10]. 특히 NF-κB는 세포내 IκB-α와 heterodimer를 이루고 있으며 염증 반응이 일어나면 여러 기전을 통하여 IκB-α가 인산화되어 분해됨으로써 NF-κB와 분리된다. 인산화된 IκB-α는 ubiquitin에 의하여 분해되고 유리된 NF-κB는 핵으로 이동하여 다양한 유전자의 전사를 활성화하는 것으로 알려져 있다[11,12].

다시마로부터 분리된 LLC에 의한 염증 억제에서 NF-κB 전사 인자의 반응을 확인하기 위하여 RAW 264.7 세포에 NF-κB promotor 유전자가 포함된 luciferase vector를 transfection 시킨 후 LLC를 LPS와 함께 처리하여 6 시간 배양하여 발광되는 luminesence를 측정하여 NF-κB의 활성화 정도를 분석하였다. 그 결과, LLC는 LPS에 의한 NF-κB의 활성화를 농도 의존적으로 억제하는 것으로 나타났다([그림 4-1-5]).



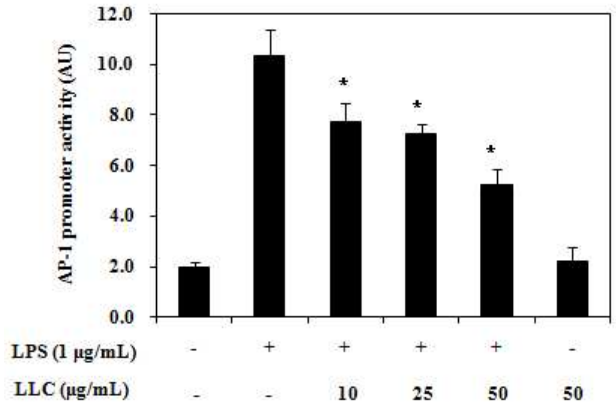
[그림 4-1-5] 다시마로부터 분리한 LLC의 NF-κB 전사 인자 활성에 미치는 영향.

LLC에 의한 NF-κB 전사 인자 활성 저해가 어떤 단계에서 일어나는지 그 기전을 확인하기 위하여 LLC와 LPS를 처리한 RAW 264.7 세포를 6 시간 배양한 후 세포질 단백질과 핵 단백질로 나누어 회수하여 Wester blot으로 분석했다. [그림 4-1-6]에서 나타낸 바와 같이 LPS를 처리한 경우 세포질에서 IκB-α와 NF-κB의 단백질이 감소하고 핵에서 NF-κB의 양이 증가하였지만 LLC는 LPS에 의한 단백질의 변화를 억제하고 있는 것으로 확인되었다. 이는 LLC가 LPS에 의하여 IκB-α가 파괴되고 NF-κB가 핵으로 이동하는 것을 저해시킨다는 것을 나타내며, LLC는 염증 반응에 의한 NF-κB의 핵 이동 기전을 저해하여 NF-κB의 전사활성을 억제시킨다는 것을 의미한다.



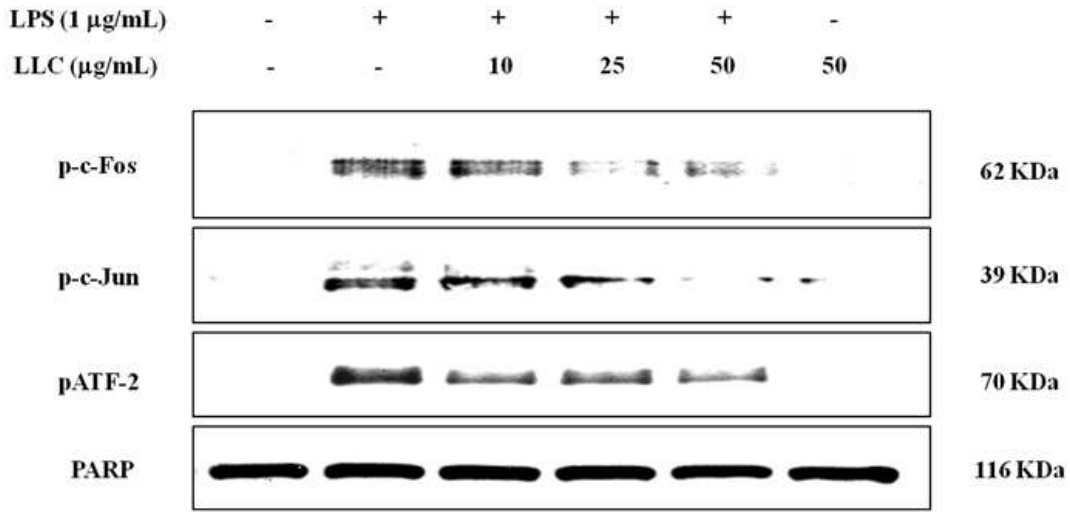
[그림 4-1-6] 다시마로부터 분리한 LLC가 NF-κB 전사 인자에 미치는 영향. 가, 세포질의 IκB-α 단백질 발현; 나, 세포질과 핵의 NF-κB 단백질 발현

AP-1은 Jun, Fos, ATF (activating transcription factor) 등의 복합체로 다양한 외부 자극에 의하여 c-jun, c-fos, ATF 등이 활성화되면 서로 dimerization이 되어 다양한 cytokine의 전사 인자로써 작용하게 된다[13]. 다시마로부터 분리된 LLC에 의한 염증 억제에서 AP-1 전사 인자의 반응을 확인하기 위하여 RAW 264.7 세포에 AP-1 promotor 유전자가 포함된 luciferase vector를 transfection 시킨 후 LLC를 LPS와 함께 처리하여 6시간 배양하여 발광되는 luminesence를 측정하여 AP-1의 활성화 정도를 분석하였다. 그 결과, LLC는 LPS에 의한 AP-1의 활성화를 농도 의존적으로 억제하는 것으로 나타났다([그림 4-1-7]).



[그림 4-1-7] 다시마로부터 분리한 LLC의 AP-1 전사 인자 활성에 미치는 영향.

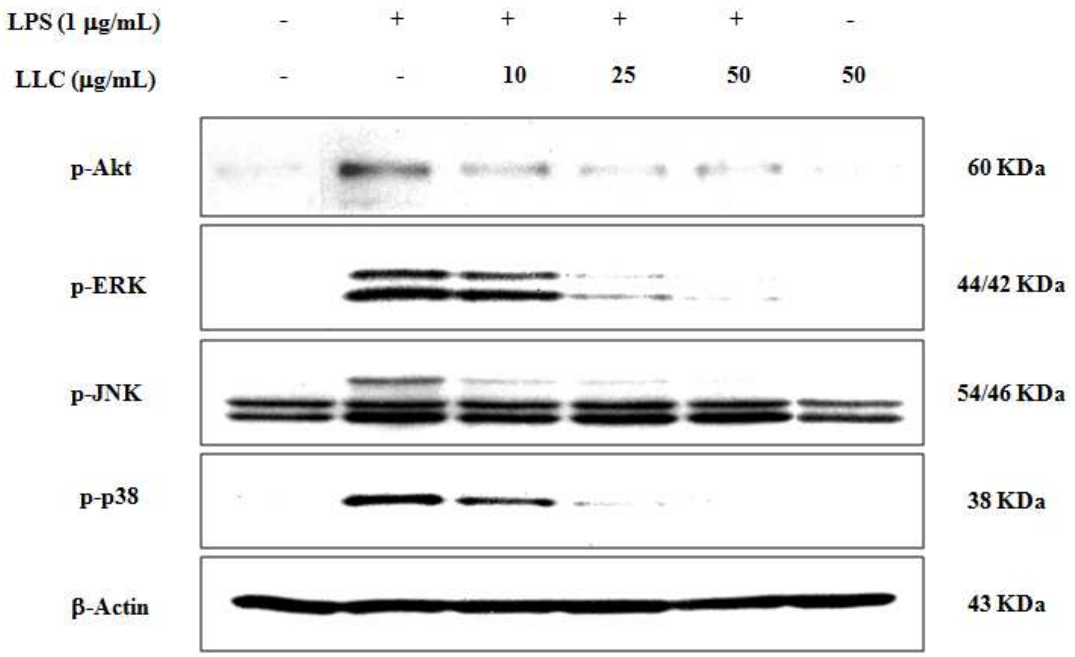
LLC에 의한 AP-1 전사활성 저해가 어떤 단계에서 일어나는지 그 기전을 확인하기 위하여 LLC와 LPS를 처리한 RAW 264.7 세포를 6 시간 배양한 후 핵 단백질을 회수하여 Wester blot으로 분석했다. [그림 4-1-8]에서 나타낸 바와 같이 LPS를 처리한 경우 핵에서 c-Fos, c-Jun 및 ATF2 등 AP-1 구성 단백질의 활성화가 증가하였지만 LLC는 LPS에 의한 AP-1 구성 단백질의 활성화를 억제하고 있는 것으로 확인되었다. 이는 LLC가 LPS에 의한 AP-1 전사 인자의 활성화 저해시킨다는 것을 나타내며, 이를 통하여 AP-1의 전사활성을 억제시킨다는 것을 의미한다.



[그림 4-1-8] 다시마로부터 분리한 LLC가 AP-1 전사 인자에 미치는 영향.

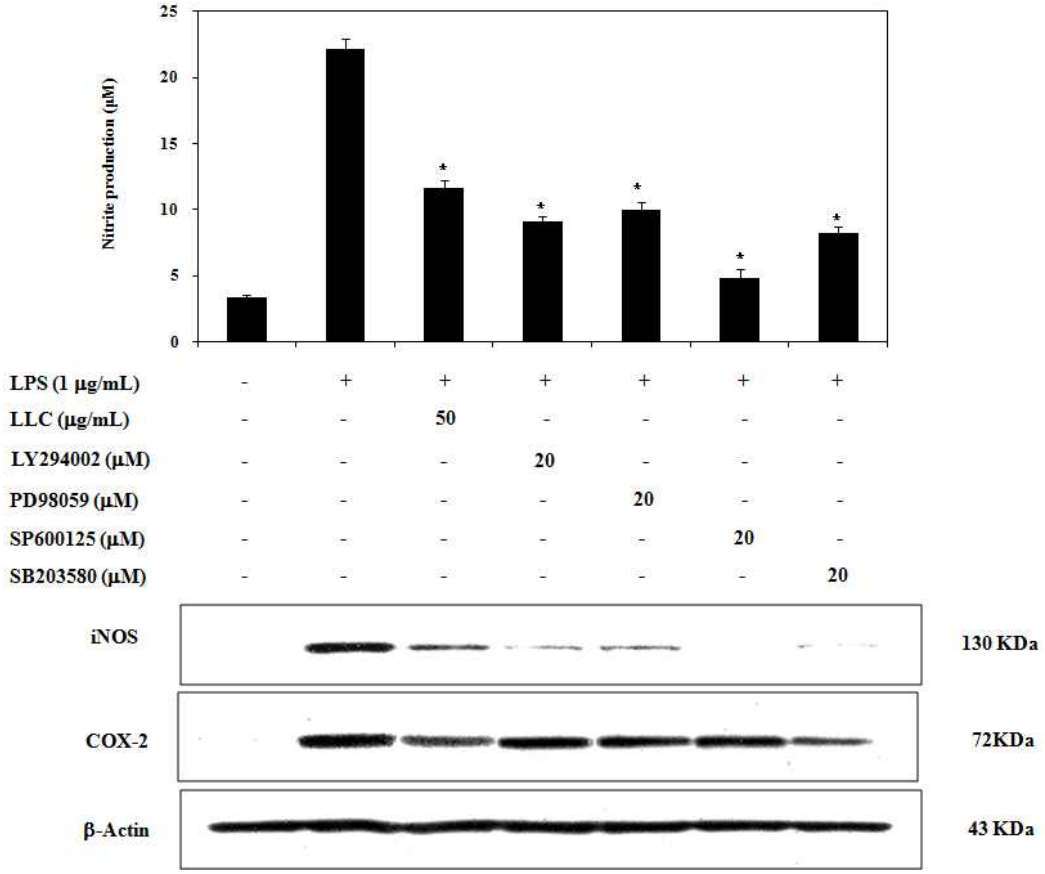
NF-κB와 AP-1 전사 인자의 활성화는 mitogen-activated protein kinase (MAPK)와 PI3K/Akt pathway에 의해 조절되는 것으로 알려져 있다[14-16]. MAPK 단백질인 ERK (extracellular signal regulated kinase), JNK (c-Jun NH2-terminal kinase), p38 MAPK는 염증성 유전자의 전사 조절을 증폭하며[17], PI3K와 그 하위 인자인 Akt는 mouse 대식 세포에서 NF-κB의 활성화를 조절하는 것으로 알려져 있다[15,16]. 본 연구에서는 다시마로부

터 분리된 LLC가 어떠한 pathway를 조절하여 NF-κB와 AP-1 전사 인자의 활성화에 영향을 미치는지 확인하기 위하여 LLC를 LPS와 함께 처리하고 30 분 후 세포내 단백질을 회수하여 각 단백질의 활성화 정도를 분석하였다. 그 결과, LLC는 LPS에 의해 활성화되는 Akt, ERK, JNK, p38을 모두 억제시키는 것으로 나타났다([그림 4-1-9]).



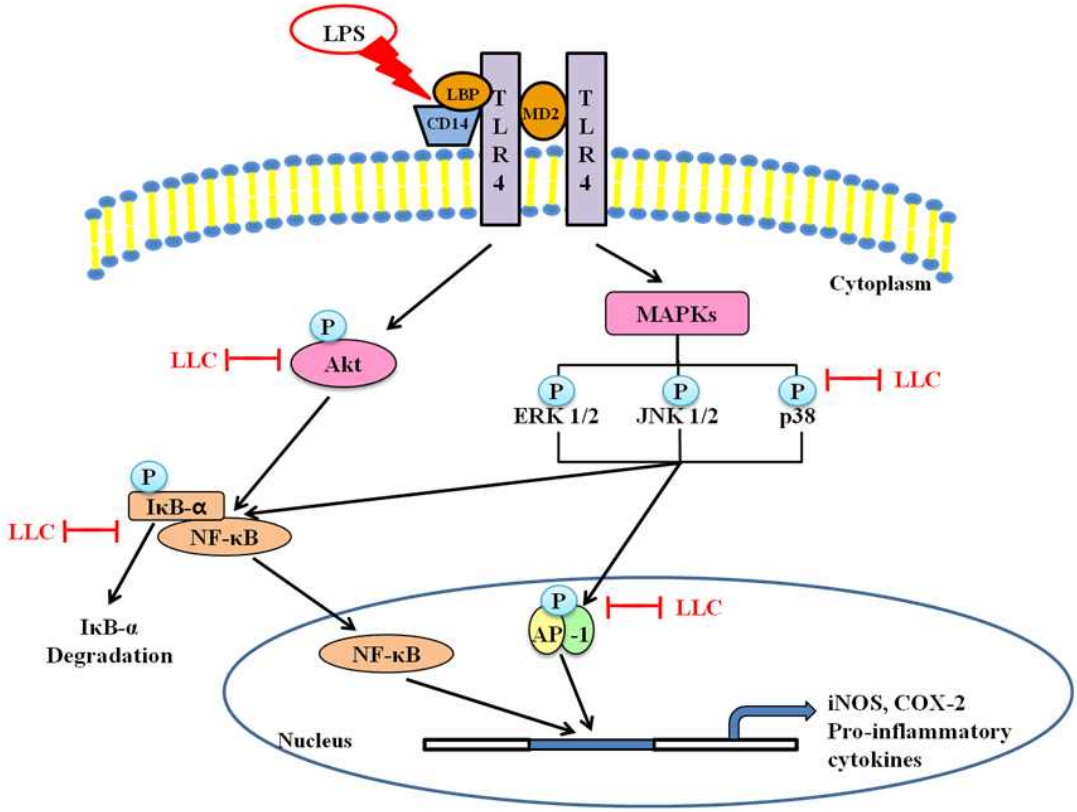
[그림 4-1-9] 다시마로부터 분리된 LLC가 PI3K/Akt와 MAPKs pathway에 미치는 영향.

또한 각각의 단백질에 대한 억제제와 LPS를 처리하여 nitrite 생성량과 iNOS, COX-2 단백질의 발현을 분석하여 염증 반응의 정도를 확인하였다. [그림 4-1-10]에 나타나듯이, Akt와 MAPKs 억제제를 처리하였을 경우 LPS에 의한 nitrite의 생성과 iNOS 단백질의 과발현은 저해되었지만 COX-2 단백질의 과발현은 p38 MAPK을 억제하였을 경우에만 저해되는 것으로 나타났다.



[그림 4-1-10] PI3K/Akt와 MAPKs pathway 억제제와 LLC가 LPS에 의한 염증 반응에 미치는 영향

이것은 p38 MAPK의 활성화가 COX-2 단백질의 발현에 중요한 영향을 미친다는 것을 의미한다. 따라서, LLC는 Akt와 MAPKs를 모두 조절하여 NF-κB와 AP-1 전사 인자 활성을 저해하고 iNOS와 COX-2 과발현을 억제시킴으로써 항염증 활성을 나타낸다는 결론을 내릴 수 있다([그림 4-1-11]).



[그림 4-1-11] 다시마로부터 분리한 LLC의 항염증 활성 기전.

나 LPS로 유도된 ICR 마우스에 대한 다시마 헥산추출물의 항염증 활성

1) 다시마 주정 추출물과 *n*-헥산 분획물의 독성 시험

본 연구에서는 다시마 주정 추출물 및 *n*-헥산 분획물을 항염증 소재로 활용하기 위하여 시료의 급성독성 시험을 ICR계 수컷 마우스를 동물모델로 실험하였다. 시료의 투여는 ICR계 수컷 마우스를 11 군으로 나누어 (n=5) 1 군은 대조군으로 20% propylene glycol을 경구 투여하였고 2-6 군은 다시마 주정추출물 투여군으로 각각 78.125, 156.25, 312.5, 625, 1250 mg/kg bw/day로 경구 투여하였다. 또한 7-11군은 다시마 *n*-헥산 분획물 투여군으로 각각 78.125, 156.25, 312.5, 625, 1250 mg/kg bw/day로 경구 투여하였다. 급성독성 실험은 시료투여로 인하여 피실험 동물이 사망할 정도의 농도를 설정해야하나, 다시마 주정 추출물과 *n*-헥산 분획물의 용해도가 낮아 부득이 1250 mg/kg bw/day를 최고농도로 설정하였다. 두 그룹의 실험전과 후 모든 개체들의 체중을 측정하여 비교하였으며, 각각의 시료를 4 일간 투여한 후 모든 실험개체들을 에테르로 마취한 다음 해부하여 혈액과 간을 적출하였다. 혈액의 혈청을 분리하여 AST 및 ALT 효소 활성을 측정하여 시료에 의한 간독성을 확인하였다.

[표 4-1-1]에서 나타난바와 같이, 실험전과 후 실험개체들의 체중변화는 17.3%-27.0%까지 감소하는 것으로 나타났다. 대조군을 포함한 모든 실험군들은 실험전후 체중의 변화가 유의적인 차이를 보이며 감소하였으며, 특히 다시마 주정 추출물 1250 mg/kg에 노출된 실험개체들과 *n*-헥산 분획물 1250 mg/kg에 노출된 개체들은 대조군과 비교하여 유의적인 체중 감소가 나타났다. 모든 실험개체들은 실험종료시기에 체중이 감소하였는데 이는 실험기간 동안의 단식과 약물주입에 따른 스트레스가 원인으로 생각되며, 특히 다시마 주정 추출물 1250 mg/kg과 *n*-헥산 분획물 획분 1250 mg/kg에 노출된 개체들은 스트레스뿐만 아니라 다시마의 독성이 동시에 작용한 것으로 생각된다.

또한, 혈청의 AST, ALT 측정결과에서 나타나듯이 다시마 주정 추출물 625 mg/kg과 1250 mg/kg에 노출된 실험개체들은 정상개체군에 비하여 혈청의 AST와 ALT 효소 활성이 높게 나타났으며 *n*-헥산 분획물에 노출된 실험개체들 중 625 mg/kg과 1250 mg/kg에 노출된 개체들 역시 높은 AST와 ALT 효소 활성 수치가 나타났다([표 4-1-2]).

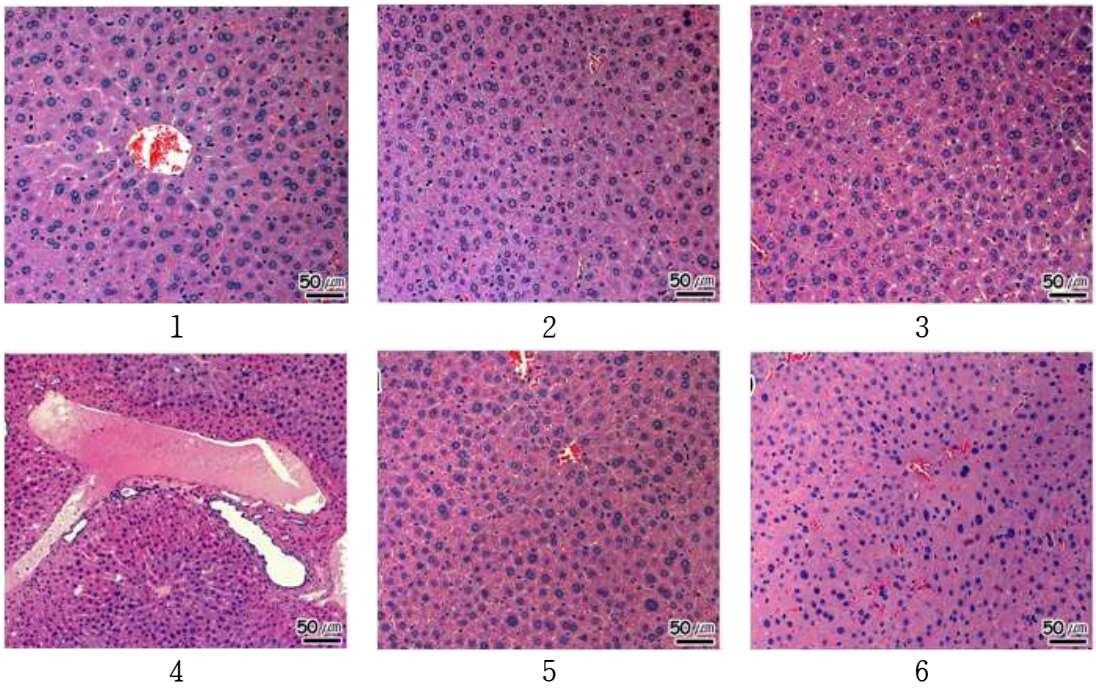
[표 4-1-1] ICR 마우스의 체중 변화

Group (mg/kg bw/day)	Total body weight (g, initial)	Total body weight (g, end-point)	Gorup	Total body weight (g, initial)	Total body weight (g, end-point)
대조군	28.6 ± 1.0	23.6 ± 2.1	-	-	-
2(78.13)	29.4 ± 1.2	23.6 ± 2.0	7(78.13)	29.1 ± 1.2	23.4 ± 1.6
3(156.3)	28.8 ± 1.4	23.8 ± 1.4	8	28.2 ± 1.4	23.0 ± 0.6
4(312.5)	29.4 ± 1.2	24.2 ± 0.7	9	26.9 ± 1.5	21.9 ± 1.9
5(625)	30.4 ± 1.8	24.7 ± 1.2	10	29.2 ± 1.3	22.1 ± 0.8
6(1250)	28.4 ± 1.6	20.7 ± 0.7	11	29.5 ± 1.0	19.7 ± 0.7

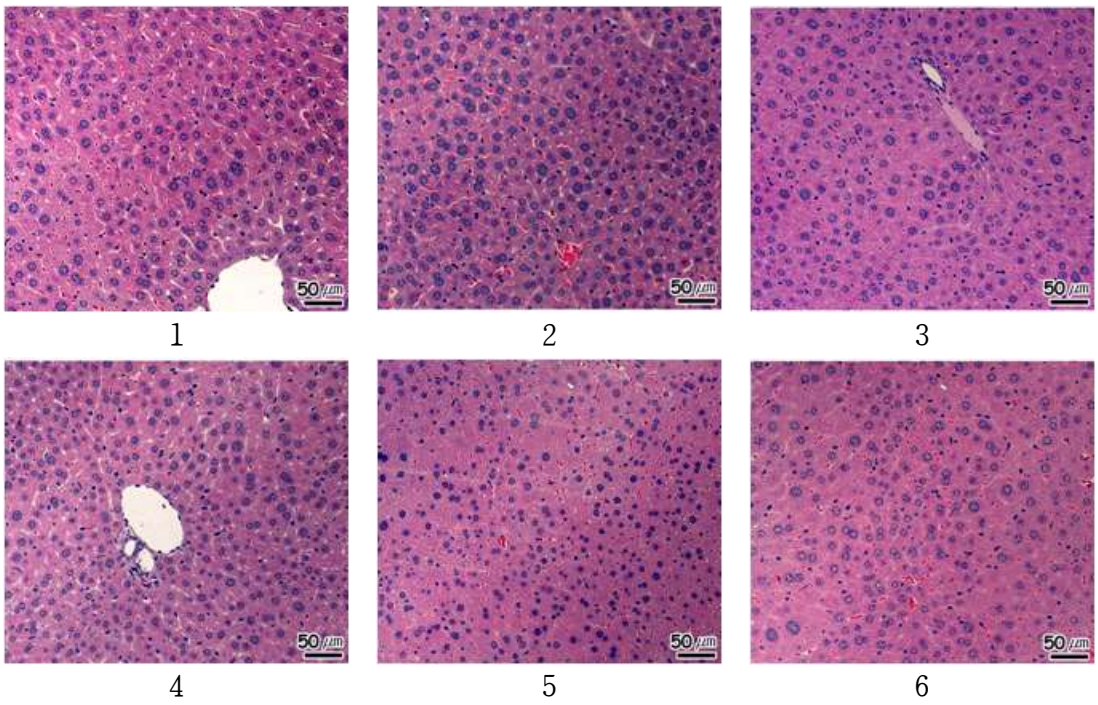
[표 4-1-2] ICR 마우스 혈청의 AST 및 ALT 활성

Group	AST (IU/L)	ALT (IU/L)	Gorup	AST (IU/L)	ALT (IU/L)
1(대조군)	78.7 ± 12.9	26.9 ± 4.9	-	-	-
2(78.13)	77.6 ± 10.7	26.9 ± 12.7	7(78.13)	74.6 ± 11.8	24.6 ± 3.9
3(156.3)	76.6 ± 15.2	31.9 ± 12.2	8(156.3)	84.6 ± 19.8	18.8 ± 7.3
4(312.5)	96.2 ± 15.0	32.8 ± 9.2	9(312.5)	89.2 ± 32.4	29.0 ± 14.3
5(625)	101.8 ± 16.2	43.0 ± 12.2	10(625)	111.2 ± 20.3	38.9 ± 4.3
6(1250)	127.3 ± 20.6	47.5 ± 4.4	11(1250)	129.3 ± 15.4	41.0 ± 8.2

조직병리학적 관찰에서도 다시마 주정 추출물과 *n*-헥산 분획물 78.125, 156.25 및 312.5 mg/kg에 노출된 실험개체들의 간은 대조구와 비슷한 조직상을 보였지만 625 mg/kg 이상의 농도에 노출된 개체들은 조직병리학적인 증상이 관찰되었다. 이들 개체들은 간세포의 핵이 비대되었으며, 세포질이 비균일화되었고, 혈관에는 다량의 혈구가 침착되는 울혈이 관찰되었다. 가장 높은 농도인 1250 mg/kg에 노출된 개체들은 핵응축 및 비대, 세포질 팽창이 관찰되었으며([그림 4-1-12], [그림 4-1-13]), 이는 심각한 간독성을 야기했다는 것을 의미하고 있다.



[그림 4-1-12] 다시마 주정 추출물이 투여된 ICR 마우스의 간조직 사진.
1, 대조군; 2, 78.125 mg/kg; 3, 156.25 mg/kg; 4, 312.5mg/kg;
5, 625 mg/kg; 6, 1250 mg/kg



[그림 4-1-13] 다시마 *n*-헥산 분획물이 투여된 ICR 마우스의 간조직 사진.
1, 대조군; 2, 78.125 mg/kg; 3, 156.25 mg/kg; 4, 312.5 mg/kg;
5, 625 mg/kg; 6, 1250 mg/kg

본 실험 결과는 다시마의 주정추출물과 *n*-헥산 분획물 625 mg/kg 이상을 섭취할 시 간독성을 야기할 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 향후 다시마의 항염증 효과를 확인하는 동물 실험시 최고농도를 625 mg/kg 이하로 설정되어야 할 것으로 판단된다.

2) LPS로 유도된 ICR 마우스의 염증 반응

다시마 추출물의 항염증 효과 연구를 위하여 우선 전신염증을 유발하는 LPS를 ICR계 마우스 수컷에 복강주사하여 염증 반응을 확인하고자 하였다. 시료의 투여는 ICR계 수컷 마우스를 2 군으로 나누어 (n=5) 1 군은 대조군으로 PBS를 복강주사하였고 2 군은 LPS 투여군으로 2 mg/kg의 LPS를 복강주사하였다. 2 시간 후 모든 실험개체들을 에테르로 마취한 다음 해부하여 혈액과 간, 비장을 적출하였다.

LPS에 의한 염증 반응 정도는 적출한 각 조직내 TNF-α, IL-6 등의 염증성 cytokine의 양을 분석하여 확인하였다. 혈액은 4℃에서 3,000 rpm으로 10 분간 원심분리하여 혈청을 분리한 후 일정량의 혈청을 ELISA kit로 분석하였다. 간과 비장은 각각 homogenate buffer로 균질화하여 일정량의 lysate를 ELISA kit로 분석하였다. 그 결과, LPS가 투여된 실험군에서 TNF-α와 IL-6의 양이 증가된 것으로 나타났다 ([표 4-1-3]).

간조직에서 TNF-α와 IL-6의 양이 각각 1.8 배, 1.3 배 증가한 것에 비하여 혈액과 비장에서는 TNF-α와 IL-6의 양이 11 배에서 300 배까지 급격히 증가하는 것으로 확인되었다. 이는 LPS의 복강주사에 의하여 각 장기의 조직, 특히 면역과 관련된 비장 조직에서 급성 염증 반응이 일어나고 이에 따라 생성되는 염증성 cytokine들이 혈액을 통하여 운반되어 전신염증으로 유도되고 있다는 것을 의미한다.

[표 4-1-3] ICR 마우스의 각 조직내 염증성 cytokine의 생성량

Tissue	TNF-α (pg/mg)			IL-6 (pg/mg)		
	Control	LPS	fold	Control	LPS	fold
Liver	1028.4	1874.9	1.8	1086.4	1406.5	1.3
Spleen	35.8	1602.0	44.8	86.0	2247.2	26.1
Blood*	22.1	6822.2	308.3	18.5	205.2	11.1

*: pg/ml

ICR 마우스에서 LPS로 유도된 염증 반응에 대한 다시마 추출물의 항염증 활성을 분석하기 위하여 ICR계 수컷 마우스를 5군으로 나누어 (n-5) 1 군은 대조군으로 20% propylene glycol을 경구투여하였고 2군은 실험군으로 20% propylene glycol을 경구투여하였다. 3-5 군은 다시마 주정추출물 투여군으로 각각 10, 40, 160 mg/kg bw/day로 경구투여하였다. 각각의 시료를 4 일간 투여하고 마지막 시료 투여 후 3 시간 뒤 1 군의 마우스에는 saline을 복강주사하였고 2-5 군의 마우스는 LPS (1 mg/kg)를 복강주사로 투여하였다. 2 시간 후 모든 실험개체들을 에테르로 마취한 후 해부하여 혈액과 간, 비장을 적출하였다.

[표 4-1-4] ICR 마우스의 체중 변화

Group	Total body weight (g, initial)	Total body weight (g, end-point)
1	32.7 ± 1.5	28.7 ± 1.4
2	33.3 ± 1.7	28.5 ± 0.4
3	34.0 ± 1.3	29.0 ± 1.1
4	34.5 ± 1.0	27.9 ± 1.3
5	33.7 ± 0.7	28.8 ± 0.4

[표 4-1-4]에서 나타난바와 같이 실험 개체들의 체중은 감소하였으나 이는 대조군도 함께 감소하고 있으므로 경구투여에 대한 스트레스로 인한 체중 감소로 생각되어지

며 각 실험군 간의 체중 감소량에 대하여 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

LPS에 의한 염증 반응 및 다시마 주정 추출물의 항염증 활성은 적출한 각 조직내 TNF-α, IL-1β 등의 염증성 cytokine의 양을 분석하여 확인하였다. 혈액은 4℃에서 3,000 rpm으로 10 분간 원심분리하여 혈청을 분리한 후 일정량의 혈청을 ELISA kit로 분석하였다. 그 결과, LPS가 투여된 실험군에서 TNF-α와 IL-6의 양이 증가된 것으로 나타났다([표 4-1-5]). 그리고 다시마 주정추출물을 투여한 실험군에서 TNF-α의 양에는 유의적인 변화가 없었으나 IL-6의 양은 10, 40, 160 mg/kg 모두 유의적으로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 LPS의 복강주사에 의하여 급성 염증 반응이 일어나 체내 염증성 cytokine들이 혈액으로 분비되어 전신 염증이 유도되지만 다시마 주정 추출물을 섭취할 경우 이러한 염증 반응이 억제되어 cytokine의 분비량이 감소하고 전신 염증의 발생을 효과적으로 차단할 수 있다는 것을 의미한다.

[표 4-1-5] ICR 마우스의 혈청내 염증성 cytokine의 생성량

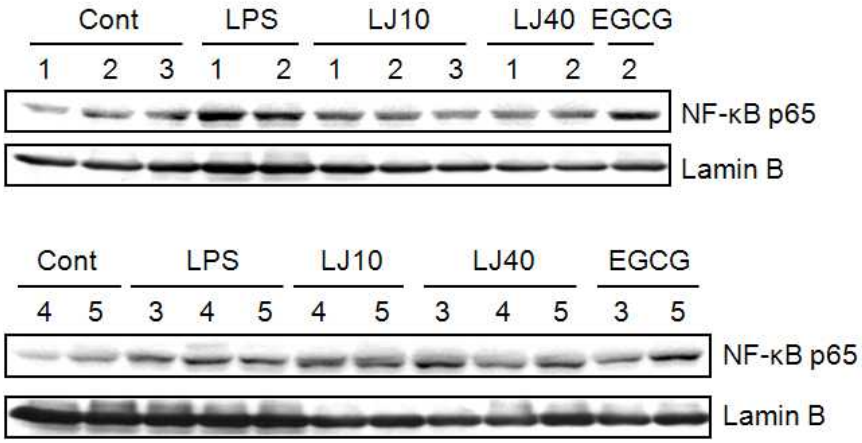
Group	TNF-α (ng/ml)	IL-6 (ng/ml)
1	0.022 ± 0.042	0.37 ± 0.07
2	3.59 ± 1.39	44.59 ± 7.71
3	4.77 ± 1.84	30.63 ± 3.24
4	4.38 ± 1.64	30.55 ± 2.77
5	5.09 ± 1.05	30.82 ± 2.81

조직내 LPS에 의한 염증 반응 및 다시마 추출물의 항염증 활성을 확인하기 위하여 면역 기능을 담당하고 있는 비장을 homogenate buffer로 균질화하여 일정량의 lysate를 ELISA kit로 분석하였다([표 4-1-6]). 그 결과 LPS를 투여한 실험군에서는 대조군에 비하여 비장내 염증성 cytokine의 생성량이 증가하는 것으로 나타났으며 다시마 주정 추출물을 투여한 실험군에서는 LPS만 투여한 실험군에 비하여 염증성 cytokine의 생성이 억제되고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 다시마 주정 추출물의 섭취가 LPS에 의해 일어나는 염증 반응을 억제하는 효과가 있다는 것을 의미한다.

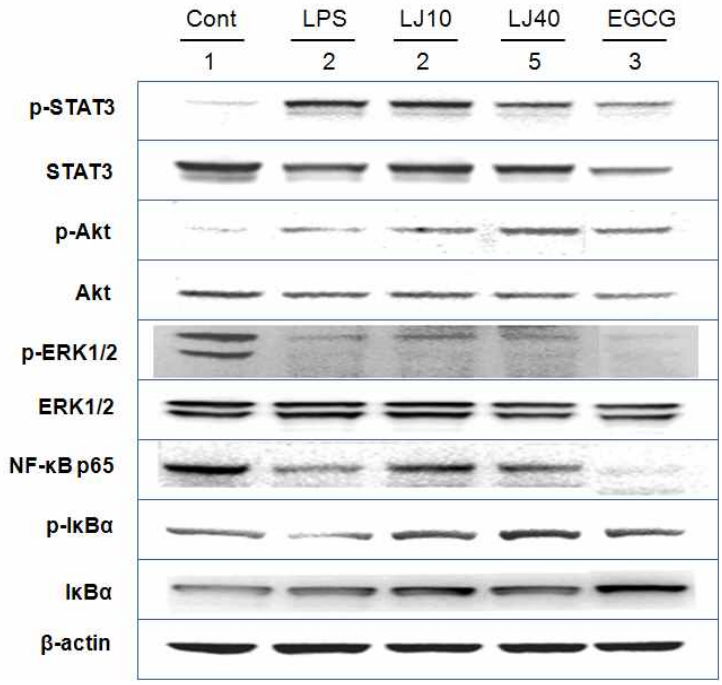
[표 4-1-6] ICR 마우스의 비장 조직내 염증성 cytokine의 생성량

Group	TNF-α (ng/mg)	IL-6 (ng/mg)	IL-1β (ng/mg)
Control	0.01 ± 0.05	0.07 ± 0.08	0.37 ± 0.07
LPS 처리구	2.46 ± 0.48	9.57 ± 0.13	4.62 ± 0.33
LPS+10 mg/kg	1.73 ± 0.28	8.34 ± 0.41	3.93 ± 0.08
LPS+40 mg/kg	1.49 ± 0.15	7.29 ± 0.04	3.25 ± 0.49
LPS+160 mg/kg	1.76 ± 0.14	6.81 ± 1.78	4.24 ± 0.51

염증관련 유전자의 전사에 주요한 역할을 하는 NF-κB의 발현변화를 분석하기 위하여 실험동물의 비장조직 중의 NF-κB의 발현을 Western blot으로 분석하였다([그림 4-1-14], [그림 4-1-15]).



[그림 4-1-14] 비장 핵 추출물에서의 다시마 투여에 따른 염증 조절 전사 인자 NF-κB 단백질 양의 변화.



[그림 4-1-15] 비장 세포질에서의 다시마 투여에 따른 염증 신호 전달 단백질의 인산화 및 양의 변화.

나. 참모자반 추출물의 생리활성

1) 참모자반 추출물의 항비만 활성

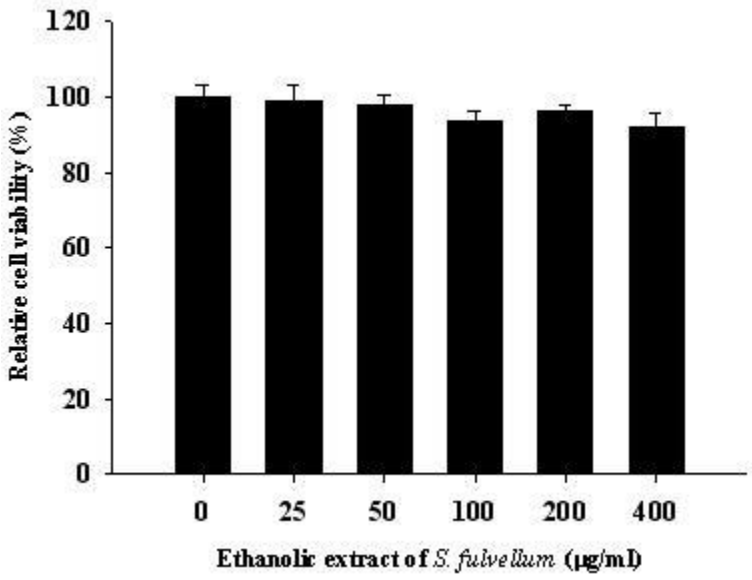
우리나라에서도 지난 10여년간 과체중 및 비만 인구가 급증하여 전체인구의 35% 가량이 과체중인 것으로 국민건강보험공단에서 발표하였다. 비만의 근본적인 유발원인은 에너지 섭취량과 소비량의 불균형에서 기인하는 것으로 유전, 환경을 포함하는 여러 가지 요인들이 복합저긴 영향을 미친다. 특히 생활환경의 변화와 고령화 사회의 진입으로 비만 관련 질병의 예방과 치료를 위하여 자연 식품에서 그 해법을 찾으려는 연구가 고조되고 있다. 이러한 시대적 추세에 부응하여 참모자반의 저분자 화합물에 의한 항비만 효과를 분석하였다.

가) 참모자반 주정 추출물의 항비만 효과

(1) 참모자반 주정 추출물의 3T3-L1 세포의 분화 억제 효과

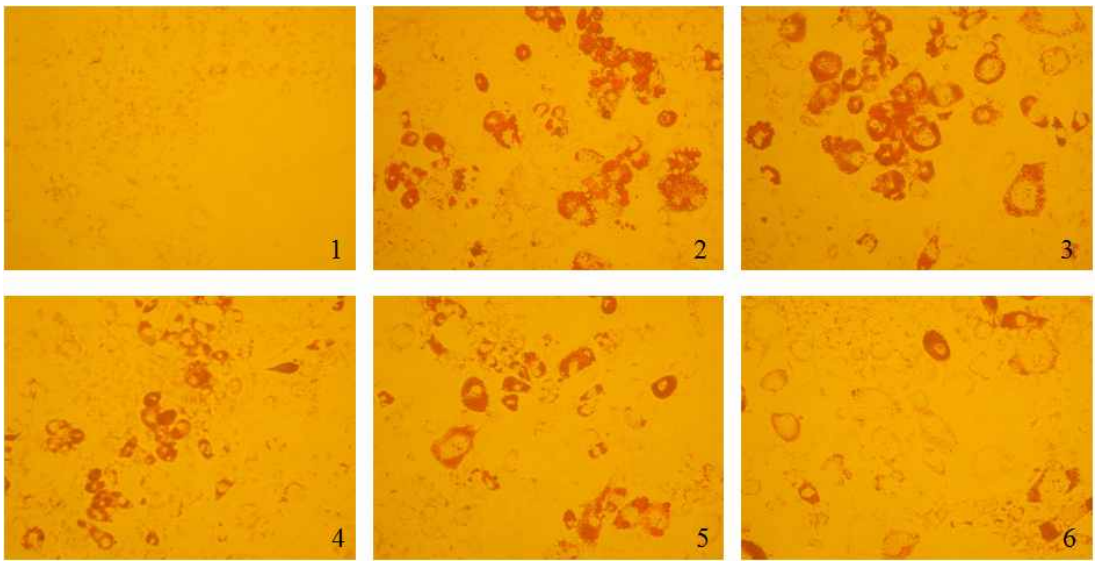
본 연구개발에 사용된 3T3-L1 세포는 일종의 줄기 세포로써 지방세포로 분화되게 되며 항비만 활성을 측정하기 위하여 주로 사용되는 세포주이다. 이 세포는 분화 유도제를 처리하면 지방세포로 분화된다. 우선 3T3-L1 세포는 분화 전에는 10% calf serum이 함유된 DMEM에서 배양하였다. 분화를 유도하기 전에 confluent 상태가 된 이후에 2-3 일정도 더 배양한 후, 3T3-L1 세포에 시료와 함께 3-isobutyl-1-methylxanthine (IBMX), dexamethasone 및 insulin (MDI)과 함께 처리하여 시료에 의한 지방세포 분화 저해효과를 분석하였다.

우선 3T3-L1 세포에 참모자반 주정 추출물을 처리하여 24 시간 배양한 후 MTS assay로 세포 생존율을 측정하였다. [그림 4-1-16]의 결과를 통해 참모자반 주정 추출물은 400 ug/ml의 농도 내에서는 세포 생존율에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

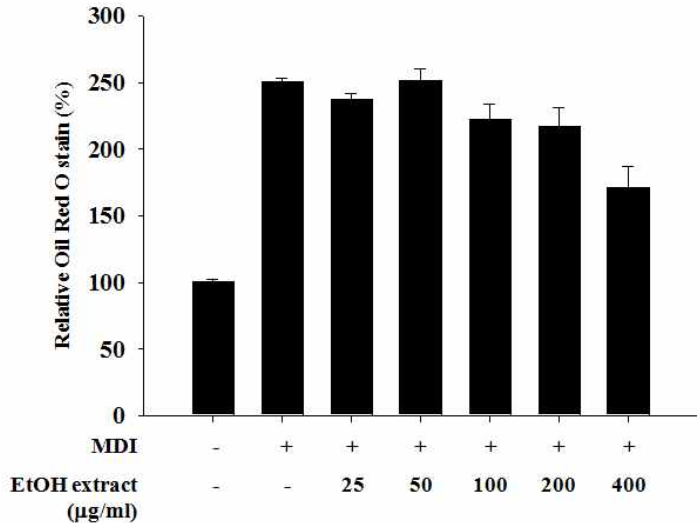


[그림 4-1-16] 참모자반 주정 추출물이 3T3-L1 세포의 생존율에 미치는 영향.

3T3-L1 세포에 참모자반 주정 추출물을 MDI와 함께 처리하여 9 일째에 세포를 PBS에 두 번 씻어 내고 10% 포름알데히드 용액으로 고정시킨 후 Oil-Red O 염색법으로 세포내 지방을 염색하였다. 그 후 세포를 위상차 현미경 (Olympus Optical Co., Tokyo, Japan)으로 관찰하고 Olympus digital video camera로 촬영하여 그림으로 나타내었다([그림 4-1-17]). 또한 세포를 lysis buffer (50 mM sodium phosphate, 2 mM EDTA, 2 M NaCl, pH 7.4)로 회수하여 40 watt에서 5 초간 2 번 sonication하였다. 세포 파쇄액을 14,000 rpm에서 10 분간 원심분리 한 후 Oil-Red O 염색법으로 염색하고 500 nm에서 흡광도를 측정하여 지방 함량을 비교 하였다. 그 결과 참모자반 주정 추물은 농도 의존적으로 3T3-L1 세포내 지방 합량을 감소시키는 것으로 나타났다([그림 4-1-18]). 이러한 결과는 참모자반 주정 추출물이 지방 세포로의 분화에 관련된 신호 전달 과정을 조절하거나 또는 지방 세포내 지방 합성 관련된 효소들에 관여하여 지방의 생성을 억제시킬 수 있다는 것을 나타낸다.



[그림 4-1-17] 참모자반 주정 추출물이 3T3-L1 세포내 지방 합성에 미치는 영향.
1, 대조군; 2, MDI 처리군; 3, MDI + 50 ug/ml;
4, MDI + 100 ug/ml; 5, MDI + 200 ug/ml;
6, MDI + 400 ug/ml

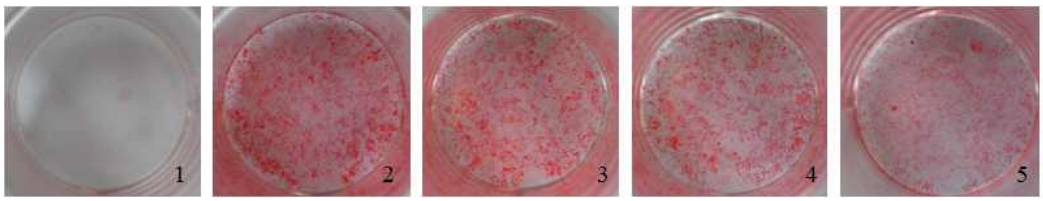


[그림 4-1-18] 참모자반 주정 추출물이 처리된 3T3-L1 세포내 지방 함량.

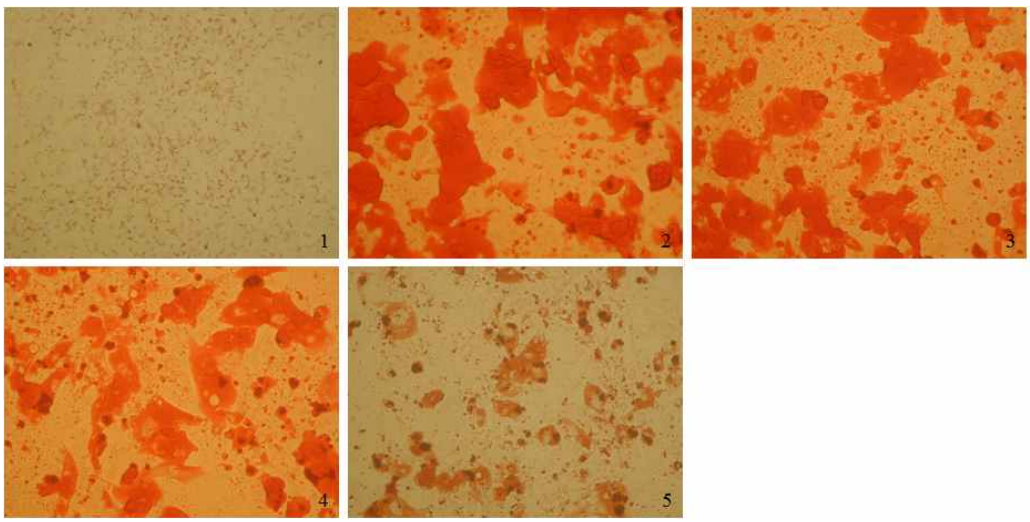
(2) 참모자반 주정 추출물의 지방 합성 억제 효과

참모자반 주정 추출물의 항비만 효과를 분석하기 위하여 3T3-L1 세포에 5 일간 MDI를 처리하여 지방세포로 분화시킨 후, 다시 참모자반 주정 추출물과 인슐린이 첨가된 배지를 세포에 7 일간 처리하여 분화된 3T3-L1 세포내에서 지방 합성 억제 효과를 확인하고자 하였다. 세포를 PBS에 두 번 씻어 내고 10% 포름알데히드 용액으로 고정시킨 후 Oil-Red O 염색법으로 세포내 지방을 염색하였다. 그 후 세포를 위상차 현미경으로 관찰하고 Olympus digital video camera로 촬영하여 그림으로 나타내었다([그림 4-1-19]). 또한 세포를 lysis buffer (50 mM sodium phosphate, 2 mM EDTA, 2 M NaCl, pH 7.4)로 회수하

여 40 watt에서 5 초간 2 번 sonication하였다. 세포 파쇄액을 14,000 rpm에서 10 분간 원심분리 한 후 Oil-Red O 염색법으로 염색하고 500 nm에서 흡광도를 측정하여 지방 함량을 비교 하였다. 그 결과 참모자반 주정 추출물은 농도 의존적으로 3T3-L1 세포내 지방 합성을 저해시키는 것으로 나타났다([그림 4-1-20]). 이러한 결과는 참모자반 주정 추출물이 지방 세포로의 분화된 세포에서 지방 합성과 관련된 신호 전달 과정에 관여하여 지방의 생성을 억제시킬 수 있다는 것을 나타낸다.

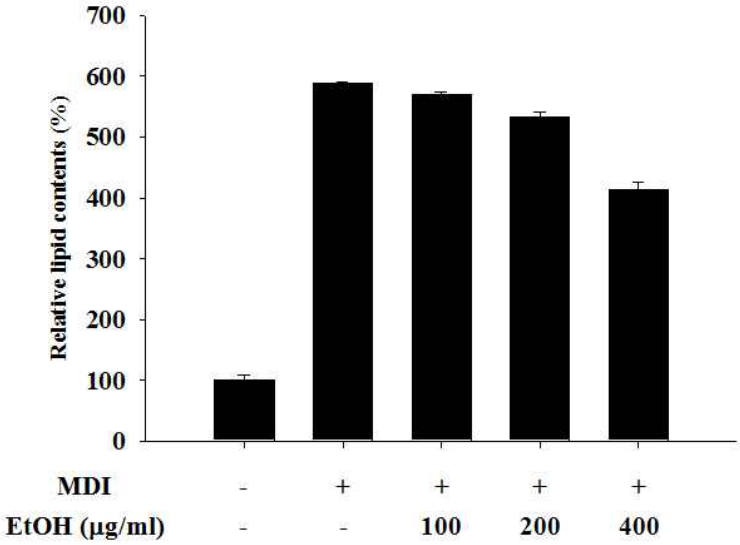


가



나

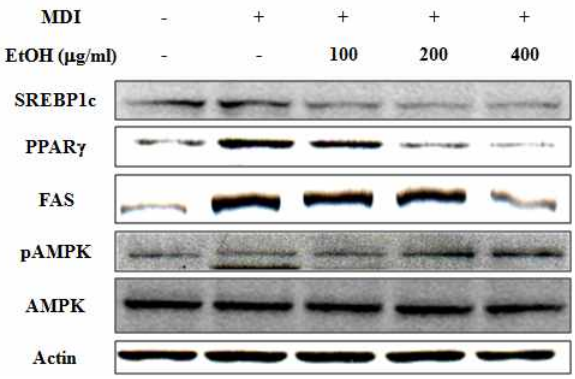
[그림 4-1-19] 참모자반 주정 추출물이 3T3-L1 세포내 지방 합성에 미치는 영향.
가, Oil Red O stain으로 염색된 세포의 사진; 나, Oil Red O stain으로 염색된 세포의 현미경 사진; 1, 대조군; 2, MDI 처리군; 3, MDI + 100 ug/ml; 4, MDI + 200 ug/ml; 5, MDI + 400 ug/ml



[그림 4-1-20] 참모자반 주정 추출물이 처리된 3T3-L1 세포내 지방 함량.

(3) 참모자반 주정 추출물이 비만 관련 단백질의 발현에 미치는 영향

참모자반 주정 추출물의 3T3-L1 세포의 분화와 지방 합성에 관련된 단백질들의 발현에 미치는 영향을 확인하기 위하여 3T3-L1 세포에 참모자반 주정 추출물을 MDI와 함께 처리하여 9 일째에 세포로부터 단백질을 추출하여 Western blot으로 단백질의 발현 정도를 분석하였다. 그 결과 3T3-L1의 분화를 조절하는 SREBP-1c와 PPARg, 지방 합성에 관여하는 fatty acid synthase (FAS) 효소 단백질의 발현이 참모자반 주정 추출물에 의하여 농도 의존적으로 감소하는 것으로 나타났다([그림 4-1-21]). 또한, β-oxidation 등 에너지 대사와 관련된 AMPK의 인산화가 참모자반 주정 추출물에 의하여 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 참모자반의 주정 추출물이 3T3-L1의 분화를 억제하고 지방 합성 효소의 발현을 감소시키며 에너지 대사를 활성화하여 세포내 지방 축적을 억제하고 있다는 것을 의미한다. 이러한 실험 결과를 토대로 참모자반 주정 추출물 중 지방 합성 억제 효과가 뛰어난 획분을 얻기 위하여 유기용매로 분획하여 항비만 효과를 분석하였다.

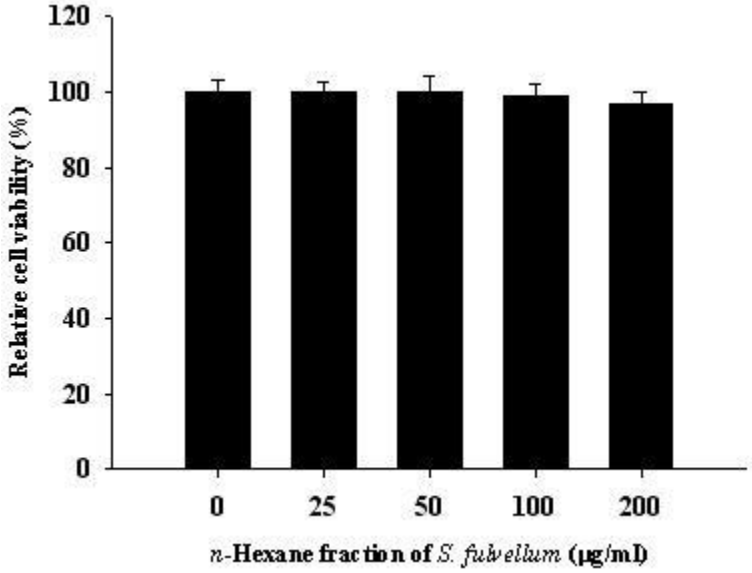


[그림 4-1-21] 참모자반 주정 추출물의 비만 관련 단백질 발현 조절.

나) 참모자반 *n*-헥산 분획물의 항비만 효과

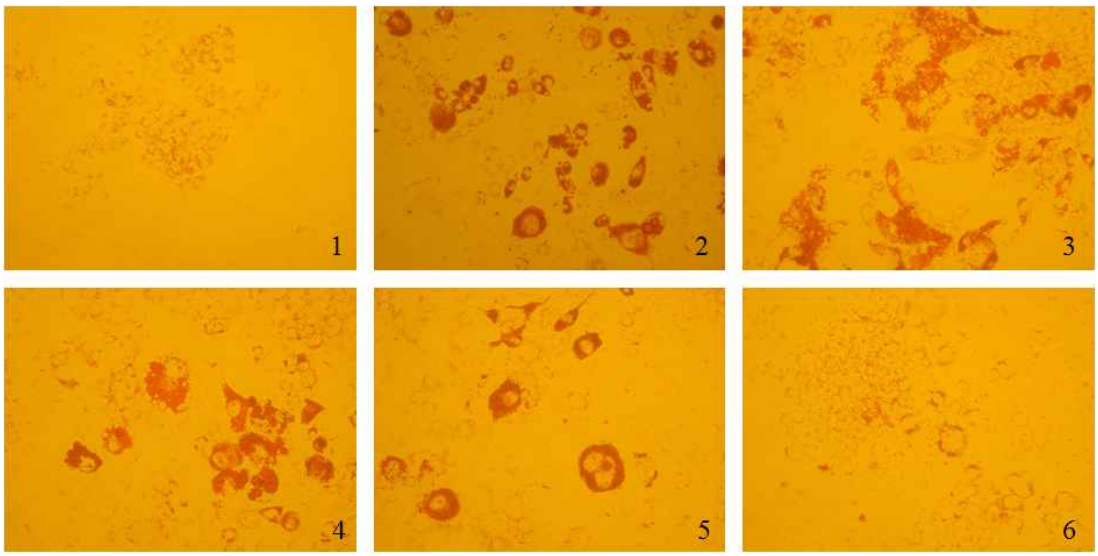
(1) 참모자반 *n*-헥산 분획물의 3T3-L1 세포의 분화 억제 효과

3T3-L1 세포에 참모자반 *n*-헥산 분획물을 처리하여 24 시간 배양한 후 MTS assay로 세포 생존율을 측정하였다. [그림 4-1-22]의 결과를 통해 참모자반 *n*-헥산 분획물은 200 ug/ml의 농도 내에서는 세포 생존율에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

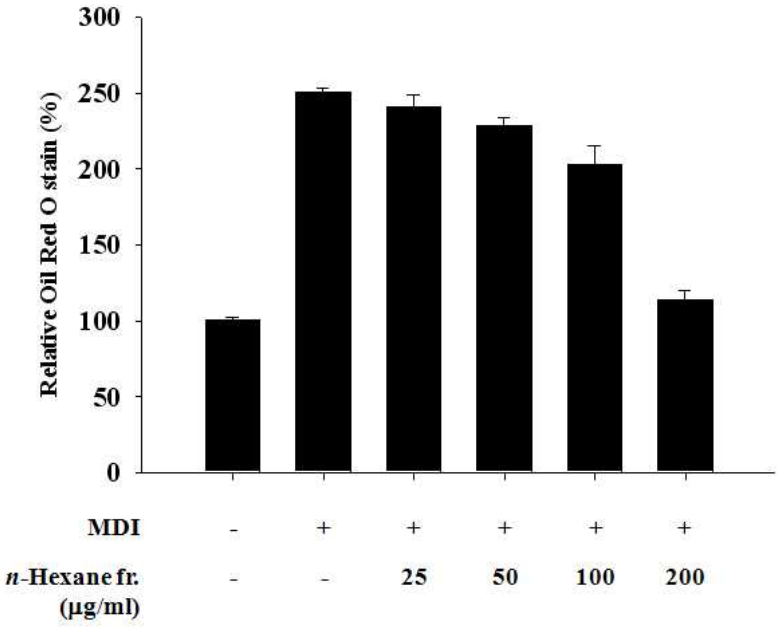


[그림 4-1-22] 참모자반 *n*-헥산 분획물이 3T3-L1 세포의 생존율에 미치는 영향.

3T3-L1 세포에 참모자반 *n*-헥산 분획물을 MDI와 함께 처리하여 9 일째에 세포를 PBS에 두 번 씻어 내고 10% 포름알데히드 용액으로 고정시킨 후 Oil-Red O 염색법으로 세포내 지방을 염색하였다. 그 후 세포를 위상차 현미경으로 관찰하고 Olympus digital video camera로 촬영하여 그림으로 나타내었다([그림 4-1-23]). 또한 세포를 lysis buffer (50 mM sodium phosphate, 2 mM EDTA, 2 M NaCl, pH 7.4)로 회수하여 40 watt에서 5 초간 2 번 sonication하였다. 세포 파쇄액을 14,000 rpm에서 10 분간 원심분리 한 후 Oil-Red O 염색법으로 염색하고 500 nm에서 흡광도를 측정하여 지방 함량을 비교 하였다. 그 결과 참모자반 *n*-헥산 분획물은 농도 의존적으로 3T3-L1 세포내 지방 합성을 저해시키는 것으로 나타났다([그림 4-1-24]). 이러한 결과는 참모자반 *n*-헥산 분획물이 지방세포로의 분화에 관련된 신호 전달 과정을 조절하거나 또는 지방 세포내 지방 합성 관련된 효소들에 관여하여 지방의 생성을 억제시킬 수 있다는 것을 나타내며 현재 단백질과 mRNA 분석 등 추가 실험을 통하여 참모자반의 *n*-헥산 분획물이 어떠한 과정을 조절하는지 확인하고 있다.



[그림 4-1-23] 참모자반 *n*-헥산 분획물이 3T3-L1 세포내 지방 합성에 미치는 영향. 1, 대조군; 2, MDI 처리군; 3, MDI + 25 ug/ml; 4, MDI + 50 ug/ml; 5, MDI + 100 ug/ml; 6, MDI + 200 ug/ml

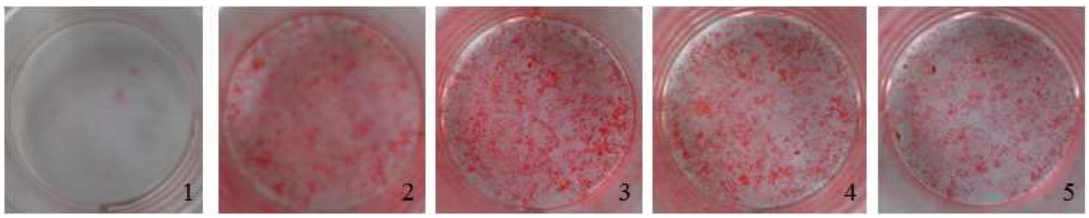


[그림 4-1-24] 참모자반 *n*-헥산 분획물이 처리된 3T3-L1 세포내 지방 함량.

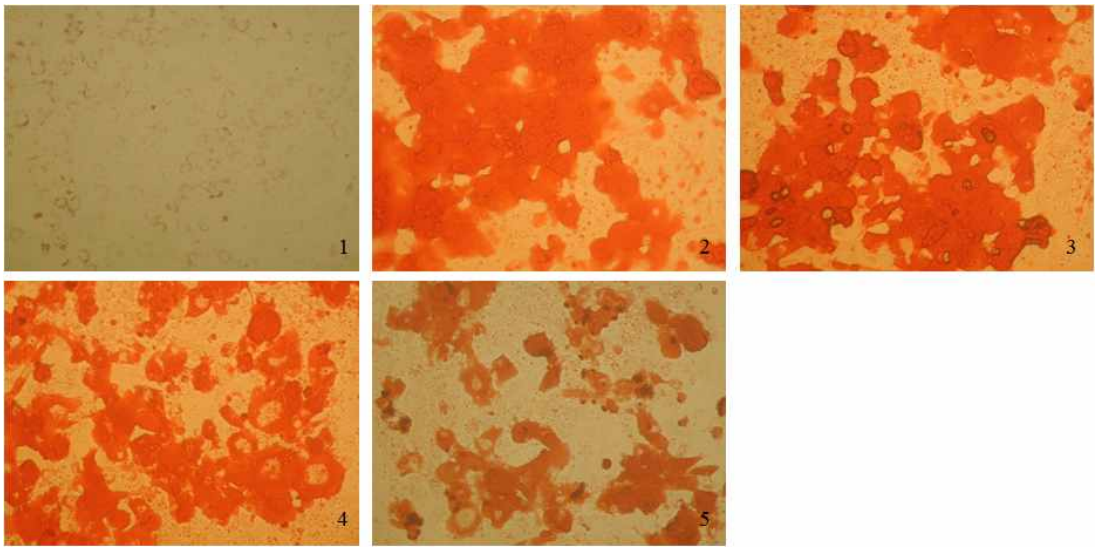
(2) 참모자반 *n*-헥산 분획물의 지방 합성 억제 효과

참모자반 *n*-헥산 분획물의 항비만 효과를 분석하기 위하여 3T3-L1 세포에 5 일간 MDI를 처리하여 지방세포로 분화시킨 후, 다시 참모자반 *n*-헥산 분획물과 인슐린이 첨가된 배지를 세포에 7 일간 처리하여 분화된 3T3-L1 세포내에서 지방 합성 억제 효과를 확인하고자 하였다. 세포를 PBS에 두 번 씻어 내고 10% 포름알데히드 용액으로 고정시킨 후 Oil-Red O 염색법으로 세포내 지방을 염색하였다. 그 후 세포를 위상차 현미경

으로 관찰하고 Olympus digital video camera로 촬영하여 그림으로 나타내었다([그림 4-1-25]). 또한 세포를 lysis buffer (50 mM sodium phosphate, 2 mM EDTA, 2 M NaCl, pH 7.4)로 회수하여 40 watt에서 5 초간 2 번 sonication하였다. 세포 파쇄액을 14,000 rpm에서 10 분간 원심분리 한 후 Oil-Red O 염색법으로 염색하고 500 nm에서 흡광도를 측정하여 지방 함량을 비교 하였다. 그 결과 참모자반 *n*-헥산 분획물은 농도 의존적으로 3T3-L1 세포내 지방 합성을 저해시키는 것으로 나타났다([그림 4-1-26]). 이러한 결과는 참모자반 *n*-헥산 분획물이 지방 세포로의 분화된 세포에서 지방 합성과 관련된 신호 전달 과정에 관여하여 지방의 생성을 억제시킬 수 있다는 것을 나타낸다.

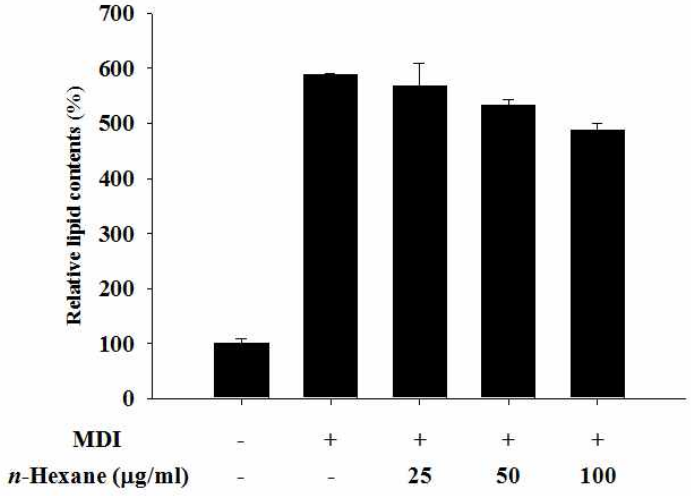


가



나

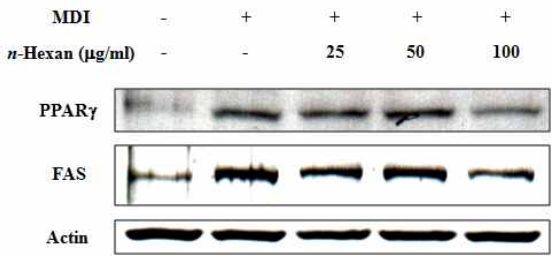
[그림 4-1-25] 참모자반 *n*-헥산 분획물이 3T3-L1 세포내 지방 합성에 미치는 영향. 가, Oil Red O stain으로 염색된 세포의 사진; 나, Oil Red O stain으로 염색된 세포의 현미경 사진; 1, 대조군; 2, MDI 처리군; 3, MDI + 25 ug/ml; 4, MDI + 50 ug/ml; 5, MDI + 100 ug/ml



[그림 4-1-26] 참모자반 *n*-헥산 분획물이 처리된 3T3-L1 세포내 지방 함량.

(3) 참모자반 *n*-헥산 분획물이 비만 관련 단백질의 발현에 미치는 영향

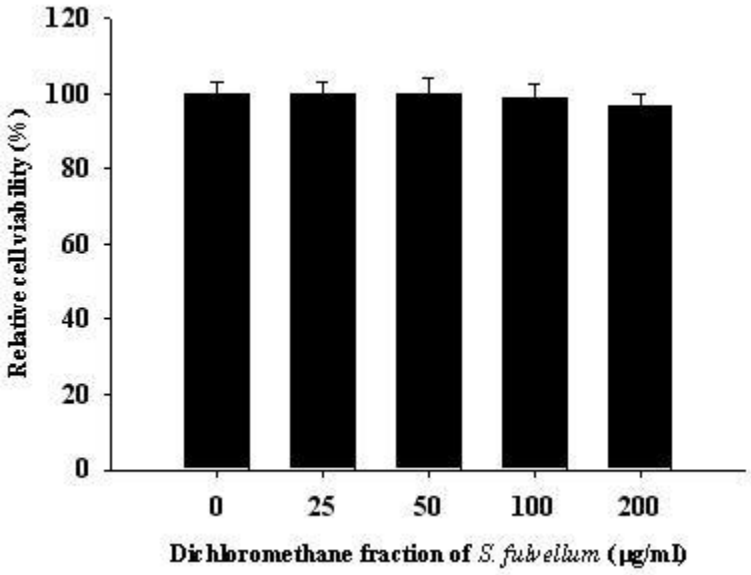
참모자반 *n*-헥산 분획물의 3T3-L1 세포의 분화와 지방 합성에 관련된 단백질들의 발현에 미치는 영향을 확인하기 위하여 3T3-L1 세포에 참모자반 *n*-헥산 분획물을 MDI와 함께 처리하여 9 일째에 세포로부터 단백질을 추출하여 Western blot으로 단백질의 발현 정도를 분석하였다. 그 결과 3T3-L1의 분화를 조절하는 PPARg, 지방 합성에 관여하는 fatty acid synthase (FAS) 효소 단백질의 발현이 참모자반 *n*-헥산 분획물에 의하여 농도 의존적으로 감소하는 것으로 나타났다([그림 4-1-27]). 이러한 결과는 참모자반의 *n*-헥산 분획물이 3T3-L1의 분화를 억제하고 지방 합성 효소의 발현을 감소시켜 세포내 지방 축적을 억제하고 있다는 것을 의미한다.



[그림 4-1-27] 참모자반 *n*-헥산 분획물의 비만 관련 단백질 발현 조절.

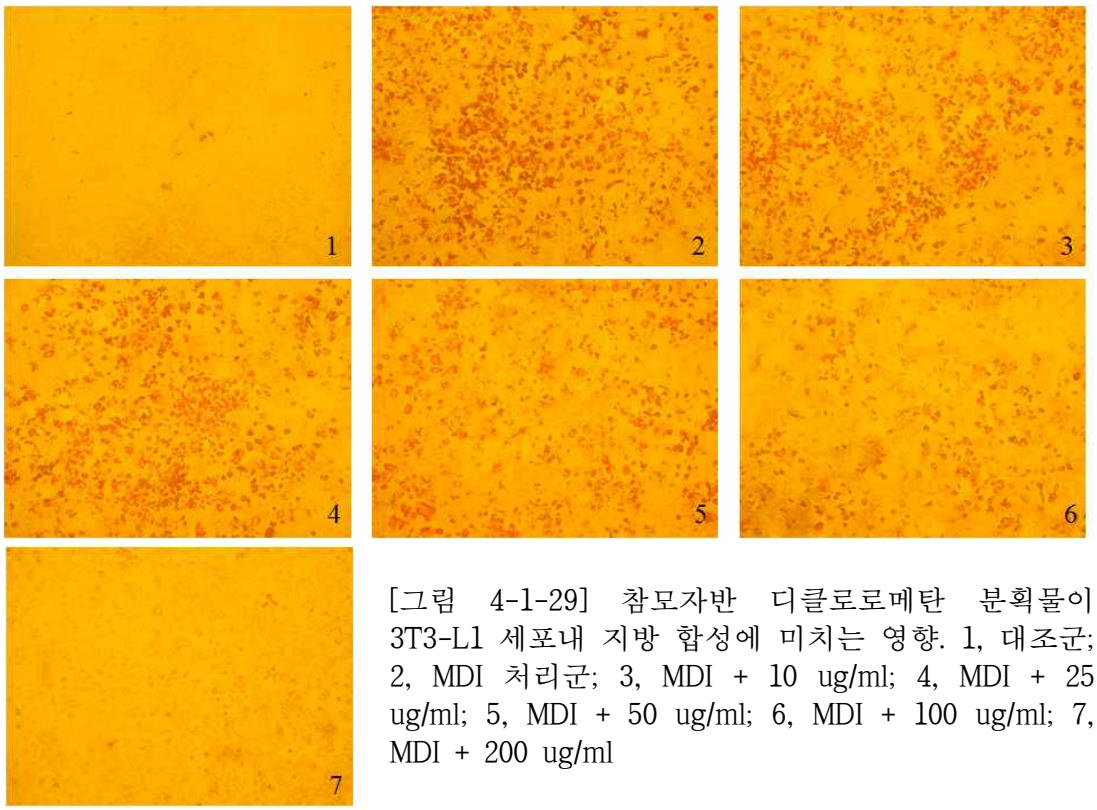
다) 참모자반 디클로로메탄 분획물의 항비만 효과

3T3-L1 세포에 참모자반 디클로로메탄 분획물을 처리하여 24 시간 배양한 후 MTS assay로 세포 생존율을 측정하였다. [그림 4-1-28]의 결과를 통해 참모자반 디클로로메탄 분획물은 200 ug/ml의 농도 내에서는 세포 생존율에 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

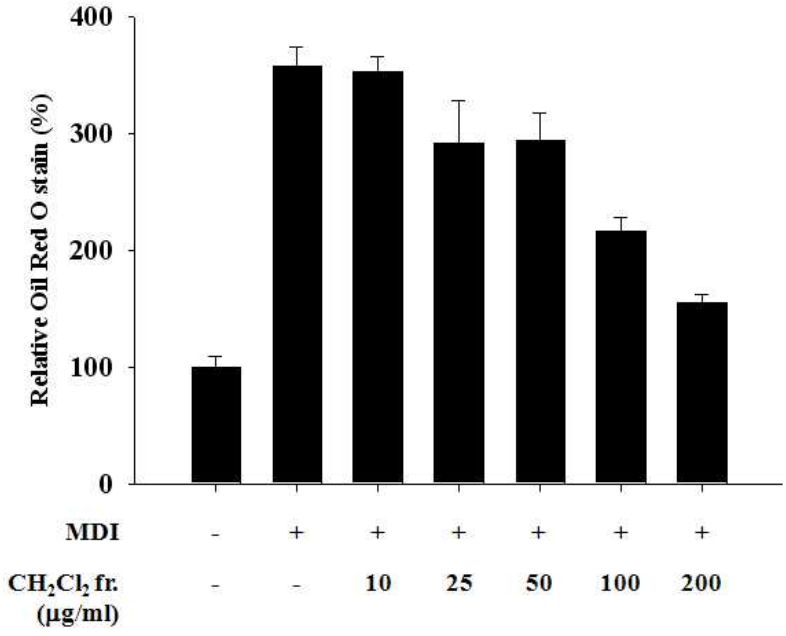


[그림 4-1-28] 참모자반 디클로로메탄 분획물이 3T3-L1 세포의 생존율에 미치는 영향.

3T3-L1 세포에 참모자반 디클로로메탄 분획물을 MDI와 함께 처리하여 9 일째에 세포를 PBS에 두 번 씻어 내고 10% 포름알데히드 용액으로 고정시킨 후 Oil-Red O 염색법으로 세포내 지방을 염색하였다. 그 후 세포를 위상차 현미경으로 관찰하고 Olympus digital video camera로 촬영하여 그림으로 나타내었다([그림 4-1-29]). 또한 세포를 lysis buffer (50 mM sodium phosphate, 2 mM EDTA, 2 M NaCl, pH 7.4)로 회수하여 40 watt에서 5 초간 2 번 sonication하였다. 세포 파쇄액을 14,000 rpm에서 10 분간 원심분리 한 후 Oil-Red O 염색법으로 염색하고 500 nm에서 흡광도를 측정하여 지방 함량을 비교 하였다. 그 결과 참모자반 디클로로메탄 분획물은 농도 의존적으로 3T3-L1 세포내 지방 합성을 저해시키는 것으로 나타났다([그림 4-1-30]). 이러한 결과는 참모자반 디클로로메탄 분획물이 지방 세포로의 분화에 관련된 신호 전달 과정을 조절하거나 또는 지방 세포내 지방 합성 관련된 효소들에 관여하여 지방의 생성을 억제시킬 수 있다는 것을 나타내며 현재 단백질과 mRNA 분석 등 추가 실험을 통하여 참모자반의 디클로로메탄 분획물이 어떠한 과정을 조절하는지 확인하고 있다.



[그림 4-1-29] 참모자반 디클로로메탄 분획물이 3T3-L1 세포내 지방 합성에 미치는 영향. 1, 대조군; 2, MDI 처리군; 3, MDI + 10 ug/ml; 4, MDI + 25 ug/ml; 5, MDI + 50 ug/ml; 6, MDI + 100 ug/ml; 7, MDI + 200 ug/ml

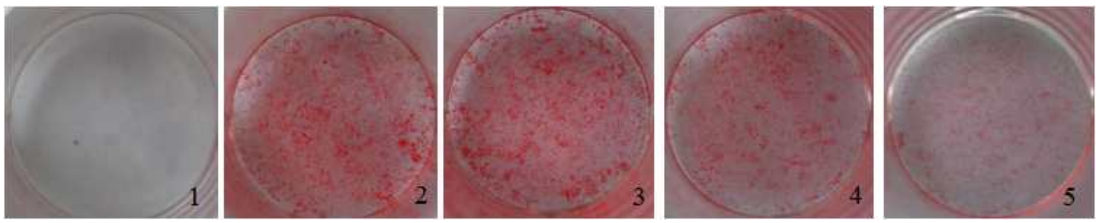


[그림 4-1-30] 참모자반 디클로로메탄 분획물이 처리된 3T3-L1 세포내 지방 함량.

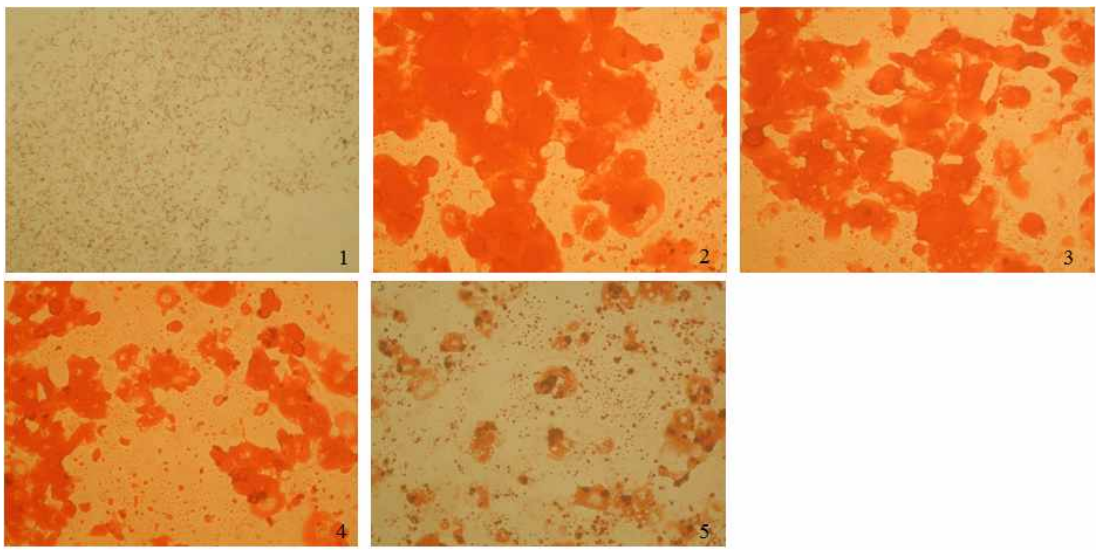
라) 참모자반 디클로로메탄 분획물의 지방 합성 억제 효과

참모자반 디클로로메탄 분획물의 항비만 효과를 분석하기 위하여 3T3-L1 세포에 5 일간 MDI를 처리하여 지방세포로 분화시킨 후, 다시 참모자반 디클로로메탄 분획물과

인슐린이 첨가된 배지를 세포에 7 일간 처리하여 분화된 3T3-L1 세포내에서 지방 합성 억제 효과를 확인하고자 하였다. 세포를 PBS에 두 번 씻어 내고 10% 포름알데히드 용액으로 고정시킨 후 Oil-Red O 염색법으로 세포내 지방을 염색하였다. 그 후 세포를 위상차 현미경으로 관찰하고 Olympus digital video camera로 촬영하여 그림으로 나타내었다([그림 4-1-31]). 또한 세포를 lysis buffer (50 mM sodium phosphate, 2 mM EDTA, 2 M NaCl, pH 7.4)로 회수하여 40 watt에서 5 초간 2 번 sonication하였다. 세포 파쇄액을 14,000 rpm에서 10 분간 원심분리 한 후 Oil-Red O 염색법으로 염색하고 500 nm에서 흡광도를 측정하여 지방 함량을 비교 하였다. 그 결과 참모자반 디클로로메탄 분획물은 농도 의존적으로 3T3-L1 세포내 지방 합성을 저해시키는 것으로 나타났다([그림 4-1-32]). 이러한 결과는 참모자반 디클로로메탄 분획물이 지방 세포로의 분화된 세포에서 지방 합성과 관련된 신호 전달 과정에 관여하여 지방의 생성을 억제시킬 수 있다는 것을 나타낸다.

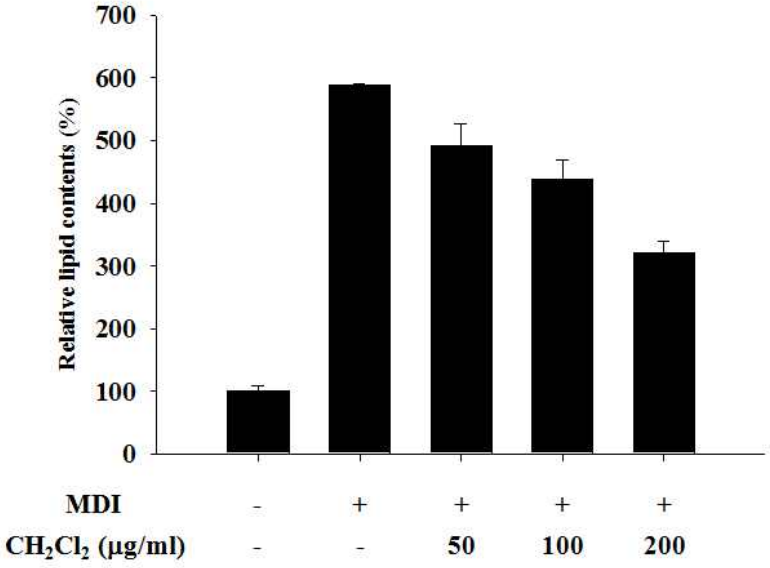


가



나

[그림 4-1-31] 참모자반 디클로로메탄 분획물이 3T3-L1 세포내 지방 합성에 미치는 영향. 가, Oil Red O stain으로 염색된 세포의 사진; 나, Oil Red O stain으로 염색된 세포의 현미경 사진; 1, 대조군; 2, MDI 처리군; 3, MDI + 25 ug/ml; 4, MDI + 50 ug/ml; 5, MDI + 100 ug/ml



[그림 4-1-32] 참모자반 디클로로메탄 분획물이 처리된 3T3-L1 세포내 지방 함량.

2) 고지방 식이로 유도된 SD 랫드에 대한 참모자반 추출물의 항비만 활성

가) 참모자반 *n*-헥산 분획물의 독성 시험

이상의 연구에서 참모자반 주정 추출물과 헥산 분획물의 항비만효과가 우수함을 입증하였다. 참모자반 주정 추출물과 헥산 분획물을 체지방 감소용 건강기능식ㅍ무 소재로 활용하기 위하여 급성독성 시험을 ICR계 수컷 마우스를 동물모델로 실험하였다. 시료의 투여는 ICR계 수컷 마우스를 11 군으로 나누어 (n=5) 1 군은 대조군으로 20% propylene glycol을 경구 투여하였고 2-6 군은 참모자반 주정추출물 투여군으로 각각 100, 200, 400, 800, 1600 mg/kg bw/day로 경구 투여하였다. 또한 7-11군은 참모자반 *n*-헥산 분획물 투여군으로 각각 100, 200, 400, 800, 1600 mg/kg bw/day로 경구 투여하였다. 급성독성 실험은 시료투여로 인하여 피실험 동물이 사망할 정도의 농도를 설정해야하나, 참모자반 주정 추출물과 *n*-헥산 분획물의 용해도가 낮아 부득이 1600 mg/kg bw/day를 최고농도로 설정하였다. 두 그룹의 실험전과 후 모든 개체들의 체중을 측정하여 비교하였으며, 각각의 시료를 4 일간 투여한 후 모든 실험개체들을 에테르로 마취한 다음 해부하여 혈액과 간을 적출하였다. 혈액의 혈청을 분리하여 AST 및 ALT 효소 활성을 측정하여 시료에 의한 간독성을 확인하였다.

[표 4-1-7]에서 나타난바와 같이, 실험전과 후 실험개체들의 체중변화는 17.3%-27.0%까지 감소하는 것으로 나타났다. 대조군을 포함한 모든 실험군들은 실험전후 체중의 변화가 유의적인 차이를 보이며 감소하였으며, 특히 참모자반 주정 추출물 1600 mg/kg에 노출된 실험개체들과 *n*-헥산 분획물 1600 mg/kg에 노출된 개체들은 대조군과

비교하여 유의적인 체중 감소가 나타났다. 모든 실험개체들은 실험종료시기에 체중이 감소하였는데 이는 실험기간 동안의 단식과 약물주입에 따른 스트레스가 원인으로 생각되며, 특히 참모자반 주정 추출물 1600 mg/kg과 *n*-헥산 분획물 획분 1600 mg/kg에 노출된 개체들은 스트레스뿐만 아니라 참모자반의 독성이 동시에 작용한 것으로 생각된다.

[표 4-1-7] ICR 마우스의 체중 변화

Group (mg/kg bw/day)	Total body weight (g, initial)	Total body weight (g, end-point)	Gorup	Total body weight (g, initial)	Total body weight (g, end-point)
대조군	29.4 ± 1.2	22.5 ± 2.2	-	-	-
2(100)	28.3 ± 2.1	24.3 ± 2.2	7(100)	29.1 ± 1.2	23.4 ± 1.6
3(200)	28.9 ± 1.6	24.3 ± 2.4	8(200)	28.2 ± 1.4	24.2 ± 1.4
4(400)	28.9 ± 1.5	23.9 ± 1.3	9(400)	26.9 ± 1.5	22.6 ± 2.1
5(800)	39.2 ± 1.4	24.6 ± 1.5	10(800)	29.2 ± 1.3	23.1 ± 1.6
6(1600)	29.1 ± 1.2	21.5 ± 1.1	11(1600)	29.5 ± 1.0	20.5 ± 1.5

또한, 혈청의 AST, ALT 측정결과에서 나타나듯이 참모자반 주정 추출물 800 mg/kg과 1600 mg/kg에 노출된 실험개체들은 정상개체군에 비하여 혈청의 AST와 ALT 효소 활성이 높게 나타났으며 *n*-헥산 분획물에 노출된 실험개체들 중 800과 1600 mg/kg에 노출된 개체들이 다소 높은 AST와 ALT 효소 활성 수치가 나타났다([표 4-1-8]). 따라서 이후의 동물실험에서는 안전한 농도인 400 mg/kg bw/day의 농도까지를 설정하였다.

[표 4-1-8] ICR 마우스 혈청의 AST 및 ALT 활성

Group	AST (IU/L)	ALT (IU/L)	Gorup	AST (IU/L)	ALT (IU/L)
1(대조군)	80.1 ± 10.2	28.4 ± 3.6	-	-	-
2(100)	75.6 ± 8.9	26.5 ± 10.3	7(100)	76.2 ± 10.1	25.8 ± 4.1
3(200)	75.4 ± 12.1	31.9 ± 12.2	8(200)	84.6 ± 19.8	21.8 ± 7.3
4(400)	83.2 ± 13.6	32.8 ± 9.2	9(400)	80.2 ± 11.4	23.1 ± 5.6
5(800)	88.3 ± 11.3	31.4 ± 10.3	10(800)	85.4 ± 10.3	26.1 ± 5.2
6(1600)	107.3 ± 15.8	39.7 ± 6.3	11(1600)	89.6± 14.2	38.4 ± 6.2

나) 참모자반 *n*-헥산 분획물의 항비만 동물실험

본 연구에서는 참모자반 *n*-헥산 분획물을 체지방 감소 기능성 신소재로 활용하기

위하여 시료의 항비만 활성 시험을 SD계 수컷 랫드를 동물모델로 실험하였다. SD계 수컷 랫드는 온도 20 ± 2℃, 습도 50 ± 10%의 환경에서 사육되었으며 1 주일간 적응시킨 후 실험을 시작하였다. 시료의 투여는 SD계 수컷 랫드를 5 군으로 나누어 (n=4) 제 1군은 대조군으로 일반사료를 주었으며 20% propylene glycol (800 mg/kg)을 경구투여하였다. 제 2군은 실험군으로 고지방 사료를 주었으며 20% propylene glycol (800 mg/kg)을 경구투여하였다. 제 3, 4, 5군은 고지방 사료를 주었으며 참모자반 *n*-헥산 분획물을 각각 25 mg/kg, 100 mg/kg, 400 mg/kg을 경구투여하였다. 대조군과 실험군의 실험 식이의 조성을 [표 4-1-9]에 나타내었다.

[표 4-1-9] 실험 식이의 조성

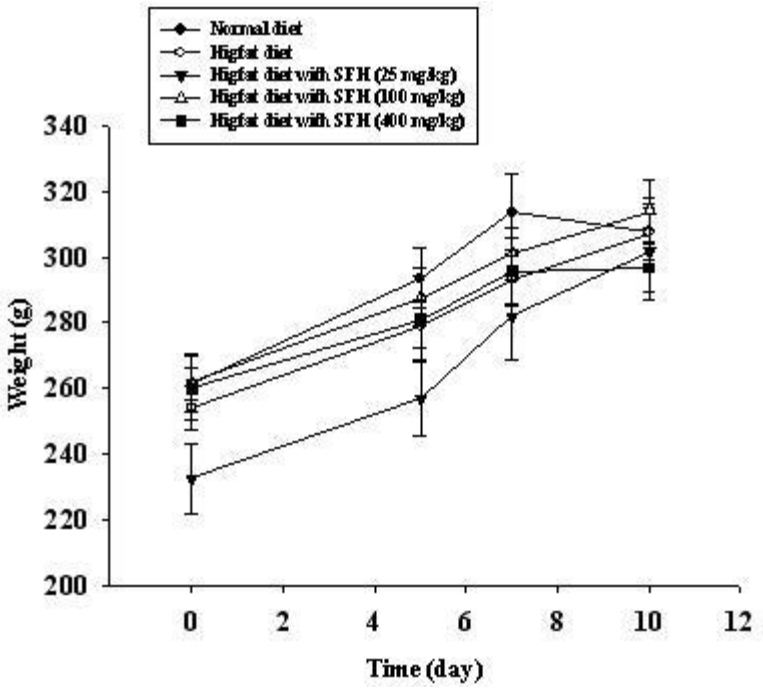
	Normal Diet	High Fat Diet
Formulation	Kcal (%)	Kcal (%)
Protein	20	20
Carbohydrate	70	20
Fat	10	60
Energy (MJ/kg)	15.9	21.8
Ingredient	g	g
Casein (from milk)	189.6	258.4
L-Cystine	2.8	3.9
Corn starch	298	0
Sucrose	331.7	88.9
Maltodextrin	33.2	161.5
Cellulose	47.4	64.6
Soybean Oil	23.7	32.3
Lard	19	316.6
Mineral Mixture	9.5	12.9
Vitamin Mixtre	9.5	12.9
Choline Bitartrate	1.9	2.6

실험 기간내 사료의 섭취량을 매일 측정하였으며 3 일 간격으로 랫드의 체중을 측정하여 각 실험군 사이의 체중 증가량을 비교하였다. 1 주일이 경과된 후 실험군 사이의 체중 증가량은 [표 4-1-10]와 같다. 참모자반 *n*-헥산 분획물을 400 mg/kg 경구 투여한 군의 랫드는 다른 실험군에 비하여 개체당 체중 증가량이 적은 것으로 나타났다. 현재

10 일째 결과를 보면 고지방식이군의 경우 비만으로 진행되는 징후를 나타내고 있으며, 특히 *n*-헥산 분획물 400 mg/kg 첨가구의 경우 고지방식이와 정상식이군에 비해 체중감소 효과가 나타나고 있다. 앞으로 6주간의 실험결과는 매우 긍정적으로 기대되며, 참모자반 헥산 획분의 체지방 감소효과에 따라 새로운 항비만 건강기능 식품이 개발될 것으로 기대된다([그림 4-1-33]).

[표 4-1-10] 10 일 후 SD계 랫드의 개체당 체중 증가량

실험군	체중 증가량 (g)	사료 섭취량 (g/day/n)
1	46.63 ± 5.29	22.84 ± 4.20
2	53.20 ± 2.72	20.03 ± 8.84
3	69.20 ± 5.63	13.88 ± 6.82
4	52.25 ± 1.87	18.85 ± 6.17
5	36.70 ± 3.64	18.38 ± 4.91



[그림 4-1-33] 참모자반 *n*-헥산 분획물 첨가식이에 의한 실험동물의 체중변화.

4. 요약 및 제언

우리나라에서 대량양식 가능한 대표적인 갈조류인 다시마, 모자반 및 곰피의 생리활성에 관한 연구를 수행함으로써 기존의 연구에 의해 보고되지 않은 결과들을 밝혔으며, 2건의 국내특허를 출원하였으며, 3건의 논문을 투고중에 있다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 요약

(1) 항염증 소재

다시마의 *n*-헥산과 디클로로메탄 획분은 항염증 효과가 우수하여, 앞으로 염증관련 질환 (위염, 대장염, 류마티스성 관절염 등)의 예방과 치료를 위한 식의약품의 소재로 활용될 가치가 높은 것으로 평가된다. 1차년도에 세포실험을 통하여 주정추출물과 *n*-헥산 획분이 높은 세포독성을 나타내었으나. 동물실험을 통한 독성은 나타나지 않았다. 이러한 결과는 다시마의 주정 추출물과 *n*-헥산 획분은 염증관련 건강기능소재로써의 활용이 기대된다.

모자반의 항염증 활성은 다시마와 마찬가지로 *n*-헥산과 디클로로메탄 획분에서 나타났으나, 다시마의 *n*-헥산 획분에 비해 모자반의 *n*-헥산 획분은 8 배, 모자반의 디클로로메탄 획분은 6 배 가량 낮은 것으로 나타났다. 그러나 다시마에 비해 세포독성은 4 배 가량 낮은 것으로 나타나 건강기능성 식품의 소재로써의 안정성은 높은 것으로 평가되었다.

(2) 항비만 소재

참모자반의 *n*-헥산 획분은 세포실험을 통하여 섬유아세포의 지방세포로의 분화억제 뿐만 아니라 지방합성 저해능이 우수한 것으로 확인되었으며, 현재까지의 동물실험(10 일째)의 결과에 의하면 *n*-헥산 획분에 의한 비만억제효과가 뛰어남을 확인하였다. 이러한 결과는 참모자반을 이용한 체지방 감소용 건강 기능식품을 개발함으로써 해조류의 효과적인 이용에 기여할 것으로 판단된다.

나. 제언

(1) 본 연구개발기간이 짧은 관계로 다양한 생리활성물질들을 분리하였으나, 구조결정을 위한 연구기간의 부족으로 인한 논문투고와 특허출원이 미비하였으므로, 차년도에는

보다 많은 논문투고와 특허출원을 위하여 충분한 연구기간이 필요하다.

(2) 보다 다양한 생리활성 실험을 위한 실험기기와 시약 구입을 위한 실험경비의 대폭적인 지원이 필요하다

(3) 현재까지 국·내외적으로 다시마와 참모자반 등의 해조류 유래 생리활성물질에 대한 연구 보고는 미비한 실정이다. 본 연구 결과에서는 다시마와 참모자반, 곰피로부터 다양한 생리활성을 확인하였고 이들로부터 생리활성물질들을 분리하였으나, 구조결정을 위한 연구기간의 부족으로 인하여 논문투고와 특허출원이 미비하였다. 차년도부터는 새로 분리된 물질들의 구조를 분석하고 다양한 생리활성을 검토와 대량 분리 공정 확립을 위한 충분한 연구 기간과 실험 기기 및 시약 구입에 대한 경비의 지원이 이루어진다면 보다 많은 연구 보고와 국내·외 특허 출원 등이 가능하여 원천기술확보와 지적 독점권을 확보할 것으로 기대된다. 또한 해조류 유래의 생리활성 물질들이 기능성 소재로 등록되어 있지 않으므로 이들 활성물질들이 건강기능성식품의 신기능성 소재로써 식품의약품안전청에 등록하기 위하여 물질의 생리활성, 안전성 등을 임상적으로 적용할 수 있는 의학자들과의 협동 연구 등 보다 다양한 연구 인프라가 필요하다.

5. 향후계획

모자반 *n*-헥산 획분을 활용한 체지방 감소용 건강기능식품 소재 개발을 위한 기초연구 및 개별인정형 식품 등록을 위한 기초연구

제 2 절 생물학적 전환공정 개발

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

본 연구는 해조류 분해 타겟미생물의 대사체 프로파일링을 통한 연구를 기반으로 하여 bioinformatics tool을 이용하여 해조류의 구성성분 중 alginate, laminaran, fucoidan 과 같은 탄수화물을 분해하는 효소적 당화 공정 수립과 당화 수율을 높이기 위해 생물친화적 전처리 공정을 도입하여 생물 친화적 공정을 확립하는 것이다. 이는 향후 비발효성당을 발효성당으로 전환시키는 효소의 개발과 value added metabolite의 생산을 기반이 되는 필수적인 연구이다.

나. 연구 내용

해조류 구성 성분이 alginate에서 배양이 되는 타겟미생물의 대사체 프로파일을 통해 잠재적 효소들을 클로닝하여 발현을 확인하고 최적 효소활성의 탐색, 분해 산물에 대한 프로파일링, 효소 활성 증진을 위한 보조인자의 탐색을 기본으로 한다. alginte의 효소적 당화를 위해 endo-type alginate lyase를 통해 oligoalginate를 만드는 효소를 탐색하고 완전 당화를 위해 exo-type alginate lyase를 탐색한다. 효소적 당화 공정이 확립되면, 수율을 높이기 위해 생물 친화적 전처리 방법을 확립하여 최종적으로 생물 친화적 공정을 수립한다. 당화물에 대한 평가를 위해 여러가지의 분석방법을 확립하고 아래와 같이 연구에 사용하였다.

2. 연구 방법

가. 실험장치 및 재료

*Saccharophagus degradans*의 database 상의 alginate lyase 유전자 중 endo-tpye alginate lyase의 가능성이 높은 *alg7b*를 선택하여 클로닝였고 발현된 단백질의 특성을 파악하였다. 효소반응 산물 파악을 위해 TLC, LC/MS 등의 분석방법을 사용하였다.

나. 실험 절차

alginate 분해 효소를 클로닝하기 위해 CaZY database에서 획득한 target gene의 염기서열을 토대로 프라이머를 제작하여 PCR을 수행하여 해당 gene을 증폭하였다. 증폭된 gene을 vector에 ligation 시킨 후 host에 transformation을 시켰다. transformant를 통

해 target protein을 과발현시켰고 그것으로 해당 활성을 측정하였다. 발현된 protein은 His-trap 컬럼을 이용하여 정제하였고 한외여과를 이용하여 해당 단백질을 농축하였다. 활성을 측정하기 위해 DNS법을 이용하여 활성을 측정하였고 효소 특성 규명을 위해 온도, pH에 따른 상대적 활성을 구하였다. target protein의 산물의 profile을 확인하기 TLC를 이용하여 시간에 따른 산물의 변화를 측정하였으면 생성된 산물들의 정확한 매스를 확인하기 위해 LC/MS를 통해서 확인하였다. 또한 여러 가지 이온에 따른 활성 변화를 측정하였고 효소의 kinetics parameterm를 구하기 위해 서로 다른 기질에 따른 속도 변화를 측정하여 Vm, km, kcat과 kcat/Km을 구하여 효소의 kinetic value들을 확인하였다.

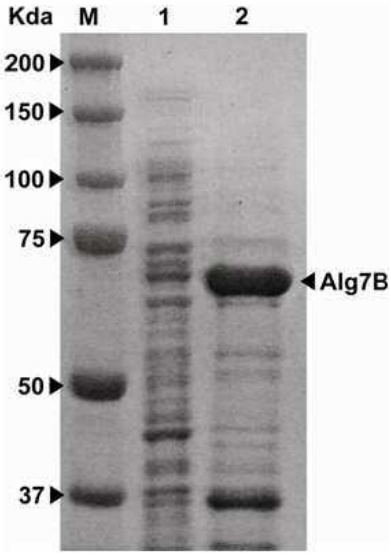
3. 연구수행 결과

가. Alg7B의 동정 및 기능의 예측

예상 활성이 기대되는 유전자를 NCBI와 CaZY database를 통해서 선별한 후 활성이 알려진 다른 미생물의 alginate lyase와의 상동성을 clustalW 프로그램을 이용하여 검토해 보았다. 또한 예상되는 catalytic domain과 보조 domain들의 위치와 특성을 알아보기 위해 SWISS-MODEL database와 Uniprot database등을 통해 잠재적인 domain들과 위치를 파악하였다. 그리고 최종적으로 가장 근접하는 다른 미생물 유래 alginate lyase를 탐색하여 Alg7B의 활성과 특성에 대해 예측하였다.

나. Alg7B의 과발현 및 정제

*E. coli*에서 재조합 Alg7B 단백질을 발현하기 위해서는 alg7B 유전자의 signal sequence를 절단하여 용이하게 발현시켰다. 최적 IPTG 농도와 induction 온도는 0.1 mM IPTG와 16℃에서 재조합 단백질 대부분이 수용성 형태로 발현되었다. 발현된 Alg7B를 His-trap으로 정제후 정제된 Alg7B를 초미세여과로 농축하였다. 그 발현된 재조합 Alg7B 분자량은 SDS-PAGE에 의하여 대략 63kDa으로 측정되었다([그림 4-2-1]).

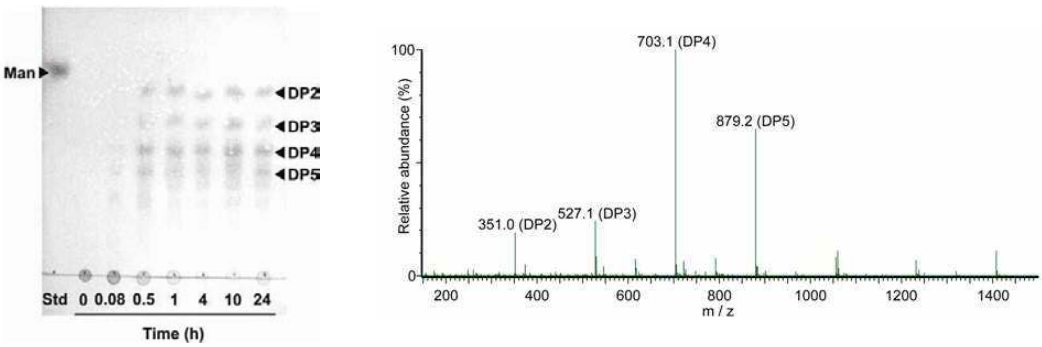


[그림 4-2-1] 재조합 Alg7B의 SDS-PAGE.

다. TLC 및 LC-MS를 사용한 반응 산물의 분석

Alg7B 반응 산물의 프로파일링의 변화를 TLC로 측정하였다. 그 결과 시간이 지남에 따라 높은 산물의 중합도를 갖는 산물들이 낮은 중합도를 갖는 산물들로 변화하였고, 결국 중합도 2, 3, 4 및 5로 예측되는 산물들이 생성되었다([그림 4-2-2] (a)). 예측된 산물들의 정확한 질량을 확인하기 위해 UPLC/Q-TOF tandem MS를 사용하였다. 그 결과 [그림 4-2-2] (b)에서 351.0, 527.1, 703.1 및 879.2m/z에서 네개의 피크가 반응 산물의 질량 스펙트럼에서 검출되었으며, 이는 각각 DP2, 352.0; DP3, 528.1; DP4 , 704.1; DP5, 879.2에 해당한다[19].

(a) (b)



[그림 4-2-2] Alg7B 반응 산물의 TLC(a) 및 LC/MS(b) chromatogram.

4. 요약 및 제언

Alginate의 효소적 당화공정을 위해서 크게 두 종류의 enzyme이 필요하다. alginate를 분해하여 oligoalginate를 생성하는 endo-type alginate lyase와 oligoalginate와 반응하여 이당 혹은 단당을 만드는 exo-type alginate lyase가 필요하다. 이번년도 상반기 실험 결과 endo-type의 alginate lyase를 통해 중합도가 2, 3, 4, 5의 산물을 만드는 기술을 확보하였다. 현재 exo-type alginate lyase라고 생각되는 후보 효소군를 탐색 중이고 하반기 중으로 해당 후보군 중에서 exo-type alginate lyase에 해당되는 효소를 찾을 수 있을 것이라고 생각된다. 이를 통해 alginate로부터 단당으로 만드는 공정을 확립할 수 있을 것이라 기대된다.

5. 향후계획

효소적 당화 공정으로는 alginate의 효율적인 당화가 이루어지기 힘들기 때문에 전처리 과정이 필요하다. 하지만, 일반적인 전처리 방법은 발효저해제인 furfural, HMF와 환경오염 물질들이 생성된다. 따라서, 향후 이와 같은 문제를 일으키지 않고 효율적으로 효소적 당화를 이룰 수 있게 하는 생물 친화적 전처리 방법을 개발하여, 효소적 당화 공정과 연계하여 생물 친화적 공정을 개발할 것이다. 아울러, alginate의 당화공정에 의해 생성되는 단당이 비발효성당이기 때문에 에탄올 생산을 위해 발효성당으로 전환 시키는 효소를 개발할 것이며, 그와 더불어 value-added metabolite의 생산공정의 개발을 진행시킬 예정이다.

제 3 절 난발효성 당류 대사형 재조합 미생물 개발

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

갈조류의 최대 부산물은 알긴산(alginate)으로 일반적인 미생물은 대사할 수 없는 구조로 되어 있다. 특히 알긴산 분해 시 생성되는 만유로닉산(mannuronic acid), 글루유닉산(guluronic acid)과 같은 유로닉산(uronic acid)는 희귀성 당류로서 대사효소 및 유전자 정보 등이 극히 제한적이다. 이와 같은 배경으로, 갈조류에 존재하는 난발효성 단당류를 함유하고 있는 알긴산 분해물을 대사할 수 있는 미생물을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

나. 연구 내용

난발효성 단당류를 대사할 수 있는 해양미생물을 선별하기 위해서 구체적으로 (1) 현재까지 보고된 해양미생물의 생리적 정보를 바탕으로 알긴산 분해형 해양미생물 라이브러리를 구축하고, (2) 순수 알긴산을 단당류 유로닉산으로 분해할 수 있는 화학적 처리법을 개발하며, (3) 알긴산 유사 유로닉산을 탄소원으로 이용한 회분식 배양을 통해서 유로닉산 대사가능 미생물을 선별한다.

난발효성 단당류의 대사효소 및 유전자 정보의 확보와 유전자 클로닝 및 발현벡터를 제조하기 위해서 구체적으로 (1) 유로닉산 대사효소로 mannuronate hydrogenase, 2-keto-3-deoxy-glucoaldehyde(KDG) dehydrogenase, KDG kinase, KDPG aldolase 등 대사효소 4종에 대한 후보 유전자 정보 확보 및 각 유전자 라이브러리 구축하고, (2) 이중 핵심 유전자인 2-keto-3-deoxy-glucoaldehyde(KDG) dehydrogenase, KDG kinase, KDPG aldolase의 유전자를 PCR 증폭시킨다.

2. 연구 방법

가. 실험장치 및 재료

(1) 실험장치

(가) 배양기

shaking incubator (한국종합기기제작소, 한국)

(나) 흡광도 측정기

UV-Visible Spectrophotometer (S-3100, Thermo Scientific Col., USA)

(다) High performance liquid chromatography

Agilent 1200 series, Detector (RID & UV210nm), Column (phenomix Rezex ROA-Organic acid H+(8%), 300×7.80mm), Solvent (0.005N sulfuric acid), Other conditions (60℃, 0.6 mL/min)

(라) 기타기기

① DNA 분리장치: Agarose gel electrophoresis (Bio-rad Co., USA)

② 파쇄기: Sonicator (0.5 mm I.D.)

(2) 실험재료

(가) 일반시약

glucuronic acid, Na-alginate, agarose(Sigma Aldrich Co., USA), oxalic acid dihydrate와 황산(Duksan, Korea), sodium hydroxide(Samchun chemical, Korea). Ultrapure water (B&J HPLC Certified Solvent, Burdick & Jackson Co., USA)

(나) 배지류

① LB medium: 10 g/l yeast extract, 20 g/l tryptone, 10 g/l NaCl

② M9 medium: 5x M9 salt(Na_2HPO_4, 60 g/l, KH_2PO_4 30g/l, NaCl 5g/l, NH_4Cl 10g/l), agar 3%, sterile water, 1M $MgSO_4$ 1ml/L, 1M $CaCl_2$ 0.1ml/L.

③ Double-layer medium:

- upper layer : Alginate-Na, 1%; Agar 2% pH7.5
- down layer : KH_2PO_4, 0.05%; K_2HPO_4, 0.05%; NaCl, 2%; $FeSO_4$, 0.01%; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.05%; KCl, 0.05%; Agar, 2% pH 7.5

(다) 미생물균주

Escherichia coli MG1655, *Flavobacterium johnsoniae* ATCC17061, *Saccharophagus degradans* ATCC43961

(라) 유전자 관련 효소 및 키트

Accuprep®genomic DNA extraction kit (Bioneer Co., Korea), T4 DNA Polymerase(5 units/ul Takara Co., Japan), 제한효소 *Bam*HI(20 units/ul, Enzynomics, Korea), calf intestinal alkaline phosphatase(30 units/ul, Takara), T4 DNA ligase(350 units/ul, Takara)

나. 실험 절차

(1) Fermentation of *E. coli* MG1655

기본적으로 M9 minimal배지에서 *E. coli* MG1655의 발효데이터를 얻기 위해서 glucose와 glucuronic acid를 이용한 M9 minimal 배지에서 박테리아 발효를 수행하였다. glucose와 glucuronic acid의 농도는 각각 0.4% (4 g/L)로 제공하였다.

(2) Alginate acid treatment

alginate를 분해하여 실험에 필요한 mannuronic acid를 얻기 위해 acid treatment를 실행하였고, mannuronic acid는 시중에 판매 하지 않으므로 직접 분해하여 얻었다[20].

(가) poly-β-D mannuronic acid and poly-α-L-guluronic acid

우선 polymannuronic acid와 polyguluronic acid를 얻기 위해 alginic acid 3gram을 100ml의 1M oxalic acid로 처리하여 100℃에서 10시간 동안 열을 가한다. 10시간이 지난 후에 이 액을 falcon tube에 50ml씩 나누어 담은 후 원심분리하여 상등액만 채취한 후 filtration하였다.

(나) Precipitation of polymannuronic acid

polymannuronic acid만 분리하기 위하여 채취한 액을 sodium hydroxide (NaOH)를 이용하여 pH 1.5로 맞추었다. pH를 1.5로 올리면 침전물이 생기는 데 이것이 polymannuronic acid으로 추정되며, 이때는 1N의 NaOH를 이용하였다. 이렇게 얻어진 침전물을 액과 분리하여 dessicator안에서 48시간 동안 drying하였고, 이로서 고체의 mannuronic acid분말을 얻을 수 있었다. drying하는 과정을 거침으로서 액체와 더 확실하게 분리되었고 다음단계에서 좀 더 정제된 polymannuronic acid를 이용할 수 있었다.

(다) Acid hydrolysis and neutralization

이렇게 얻어진 polymannuronic acid분말을 monomer로 완전히 가수분해하기위해

H_2SO_4를 이용하였다. polymannuronic acid분말 300mg을 12M의 H_2SO_4로 35℃에서 30분 동안 가수분해 하였고, 11mL의 ultrapure water를 첨가하였다. 그리고 이 혼합물을 100℃에서 2시간동안 열을 가하였다. 이렇게 얻어진 mixture를 NaOH를 이용하여 pH 6.75로 중화하였다.

(라) HPLC anlaysis

HPLC는 agilent 1200 series를 사용하였고, 위의 조건으로 맞추어 놓고 분석을 실시하였다.

(3) Application of alginate hydrolysate as carbon source

E. coli MG1655 wild type균주가 위의 알긴산 산처리 물질을 당원으로 이용할 수 있는지 확인하기 위하여 M9 minimal 배지에 산처리 물질을 넣어 배지를 만들었다. HPLC로 분석한 후 이 혼합물을 M9 minimal 배지의 탄소원으로 이용한다. mannuronic acid는 standard가 없으므로 glucose와 glucuronic acid로 비교하여 농도를 추정해본 후 농도에 따라서 희석하여 5 g/L로 배지에 넣었다. control실험으로는 산처리한 물질 대신 glucose를 5 g/L를 넣었다.

(4) M9 minimal medium

M9배지 제조 시 필요한 양만큼 H_2O를 따로 autoclave하고, 여기에 또 따로 autoclave된 M9 salts, $MgSO_4$, $CaCl_2$를 각각 넣어주었다. 그리고 탄소원을 농도에 맞추어 넣어주었다.

(5) Genomic library 제작

해양미생물인 *S. degradans*의 genomic DNA를 추출하여 유전자 라이브러리를 제작하였다.

(가) Genomic DNA 추출

*S. degradans*의 세포배양액을 재료로 이용하여 Accuprep®Genomic DNA Extraction Kit을 이용하여 S. degradans 세포 내에 존재하는 genomic DNA를 순수분리하였다.

(나)DNA fragmentation by sonication

50 ul로 elution한 genomic DNA를 4개씩 모아 200ul로 만들고 sonication을 위해

얼음과 물을 채운 비커에 고정시킨 후 sonication tip을 tube에 닿지 않게 solution에만 닿도록 꽂는다. 원하는 DNA size (500bp~2kb)로 절단하기 위한 sonication의 시간이 정해져야 하므로 10초, 20초, 30초, 40초 동안 sonication실행한다. 발열을 방지하기 위해서 10초 on, 1분 off의 시간 table을 지켰다.

(다) Blunt end의 제조

sonication을 통해 원하는 크기로 절단된 genomic DNA절편들을 blunt end로 만들어 vector에 random하게 들어갈 수 있도록 하는 과정이다. DNA의 volume을 정하기 위해 DNA 농도를 계산하여 0.077pmol/ul로 결정하였다. Insert DNA (>0.1 pmol) 2ul, 10× T4 DNA polymerase buffer 1ul, 0.1% BSA 1ul, 1.7mM dNTP mixture 1ul, dH_2O 4ul (total 9ul)를 튜브에 넣고 tapping으로 섞어준 후 70℃에서 5분, 37℃에서 5분 정치한 후, 1ul의 T4 DNA Polymerase를 넣고 섞은 후 37℃에서 5분 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 후 vortexing을 통해 효소를 불활성화시켰다.

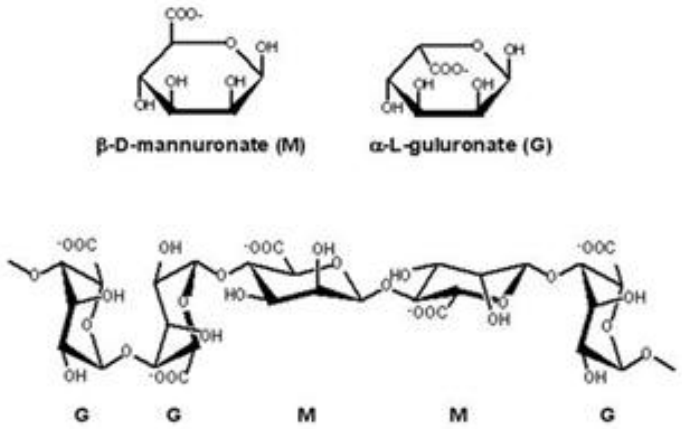
(라) 라이브러리 제조용 벡터의 효소처리

Genomic DNA 제조를 위한 벡터로 이용될 pRS424를 *Bam*HI으로 자른 후에 상기의 blunt end 제조 방법과 동일하게 pRS424에 존재하는 *Bam*HI 말단을 blunt end로 제조한 후, CIP를 처리하여 말단의 phosphate를 제거하였다.

3. 연구수행 결과

가. 갈조류 유래 알긴산 단당류의 미생물 대사 예상 경로 수립

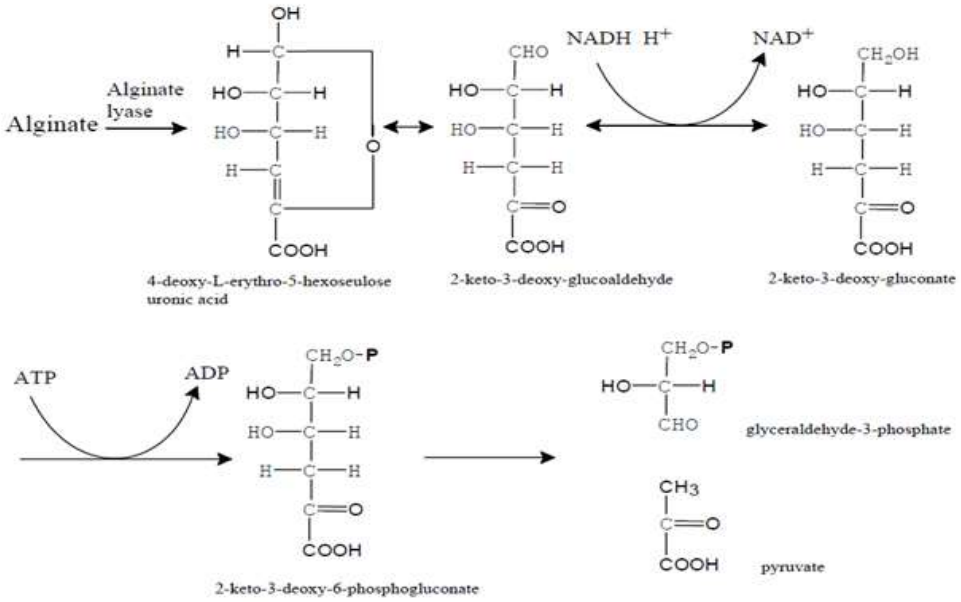
갈조류의 세포벽 주요 구성성분으로 총 건조 중량의 약 40%를 차지하는 알긴산(alginate)는 [그림 4-3-1]과 같이 2종의 유로닉산으로 구성되어 있고, 물에 잘 녹지 않은 특성을 갖고 있다.



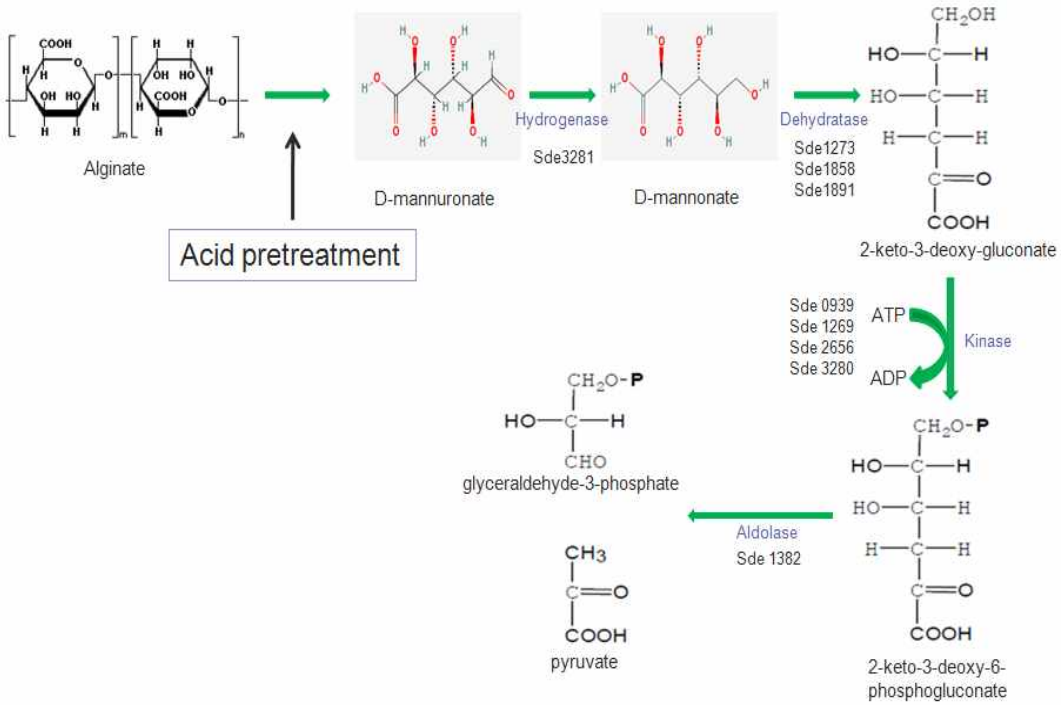
[그림 4-3-1] 갈조류 유래 알긴산의 물리화학적 구조.

알긴산을 분해하여 유로닉산 단량체로 전환시키기 위해서는 생물학적 방법과 화학적 방법을 이용할 수 있다. 생물학적 방법의 경우 알긴산 분해효소 (alginate lyase)를 이용하여 [그림 4-3-2]와 같이 4-deoxy-L-erythro-5-hexoselulose uronic acid로 전환된 이후, 자연반응으로 2-keto-3-deoxy-glucoaldehyde로 전환된다. 이후에 2-keto-3-deoxy-gluconate로 전환된 이후에 Entner-Doudoroff pathway라는 대사경로를 따라 pyruvate와 glyceraldehyde-3-phosphate로 전환될 것으로 예상되어, 에너지원 및 building block으로 이용될 것이다[21].

한편 화학적 처리방법의 일종인 약산처리법을 이용할 경우, 알긴산은 단량체인 만유로닉산 (mannuronate)로 분해된 이후에 mannuronate hydrogenase와 dehydrogenase 효소 작용으로 인해, 2-keto-3-deoxy-gluconate로 전환되고, 상기의 대사단계와 동일하게 Entner-Doudoroff 대사경로를 통해서 대사될 것으로 예상한다([그림 4-3-3]). 이와 같이 생물학적 또는 화학적으로 처리되어 유리된 알긴산 단량체의 미생물 대사 예상경로를 수립하였고, [그림 4-3-2]와 [그림 4-3-3]에 나타내었다.



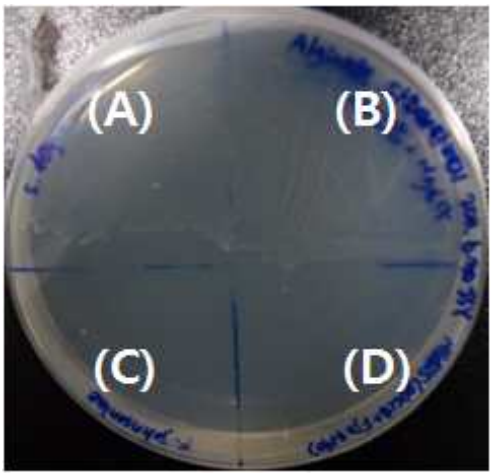
[그림 4-3-2] 생물학적으로 분해된 알긴산 단량체의 미생물 대사경로.



[그림 4-3-3] 화학적 처리된 알긴산의 미생물 대사 예상경로.

나. 알긴산 분해형 해양미생물 라이브러리를 구축

현재까지 보고된 바로는 갈조류에 함유된 알긴산을 분해하여 미생물 생장에 이용할 수 있는 미생물에 대한 보고는 전무하다. 그러나, 최근에 몇몇 보고에서 해양미생물의 일종이 다양한 고분자 탄수화물을 분해할 수 있다는 결과를 발효하였고, 이를 바탕으로 알긴산을 분해하여 대사할 수 있는 미생물 라이브러리를 구축하였음. 해양 미생물의 일종인 *Flavobacterium johnsoniae*은 과거에 *Cytophaga johnsonae*로 분류된 호기성 그람음성세균으로 토양, 진흙 등에서 발견되었고 키틴질이나 알긴산 등의 중합체를 분해할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 대표적인 해양미생물인 *Saccharophagus degradans*은 늪지대(salt march)에서 발견된 그람음성세균으로서 agar, alginate, cellulose, chitin, fucoidan, laminarin, pectin, pullulan, starch, xylan 등 다양한 탄수화물 복합체를 분해할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 자료를 바탕으로 알긴산 분해용 대사유전자를 확보하기 위해서 *Flavobacterium johnsoniae* ATCC17061와 *Saccharophagus degradans* ATCC43961 등 2종의 미생물을 확보하였다.확보한 2종의 미생물이 알긴산을 이용하여 대사할 수 있는지를 확인하기 위해서 제한배지에 alginate를 첨가한 고체배지를 제작하였고, 고체배지에 각 미생물을 도말하여 성장을 확인하였다([그림 4-3-4]).



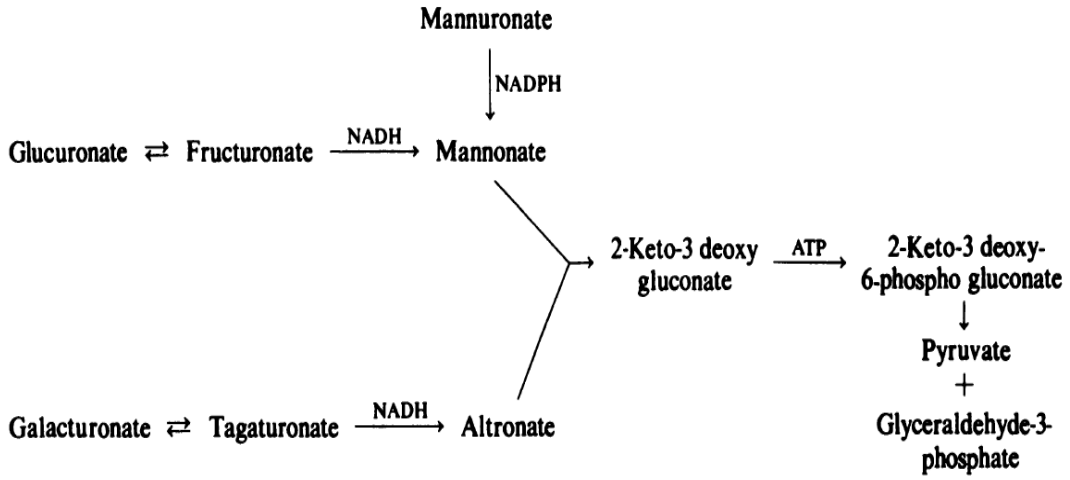
[그림 4-3-4] 알긴산 배지를 이용한 선별미생물의 알긴산 이용성능 규명.
(A) *S. degradans* (B) *E. coli* MG1655+새만금메타지놈 라이브러리 (C) *F. johnsoniae* (D) *E. coli* MG1655

다. 알긴산 유사 유로닉산 대사형 미생물 선별

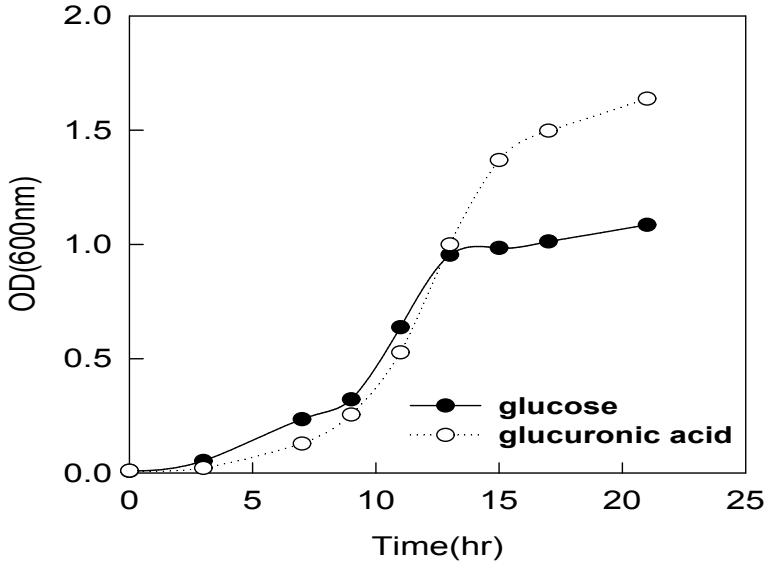
알긴산과 유사한 물리화학적 특성을 보유한 유로닉산인 글루쿠로닉산(glucuronic acid)의 대사경로는 아래의 [그림 4-3-5]와 같이 알긴산 단량체인 만유로닉산의 대사경로 일부를 공유하고 있다. 특히 만유로닉산이 환원된 형태인 만노네이트(mannonate) 이후의

대사경로는 동일하기 때문에, 만유로닉산을 대사할 수 있는 미생물은 글루쿠로닉산을 대사할 수 있을 것으로 예상된다[22].

바이오인포메틱스 기술을 이용하여 알긴산 유사 유로닉산인 글루쿠로닉산의 대사경로를 보유한 미생물인 *Escherichia coli* MG1655를 확보하였다. 이 미생물을 글루쿠로닉산을 탄소원으로 제조한 배지를 이용한 회분식 결과는 아래의 [그림 4-3-6]과 같다. 일반적으로 미생물 발효에 이용되는 포도당을 원료로 한 발효결과와 비교할 경우, 초기 세포성장은 글루쿠로닉산을 이용할 경우와 유사하였으나 최종세포성장은 글루쿠로닉산을 이용한 경우 1.5배 더 높은 결과를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 만유로닉산을 대사할 수 있는 유전자를 찾기 위한 숙주세포로 이용할 예정이다.



[그림 4-3-5] 알긴산 단량체와 유사한 글루쿠로닉산의 대사 경로.



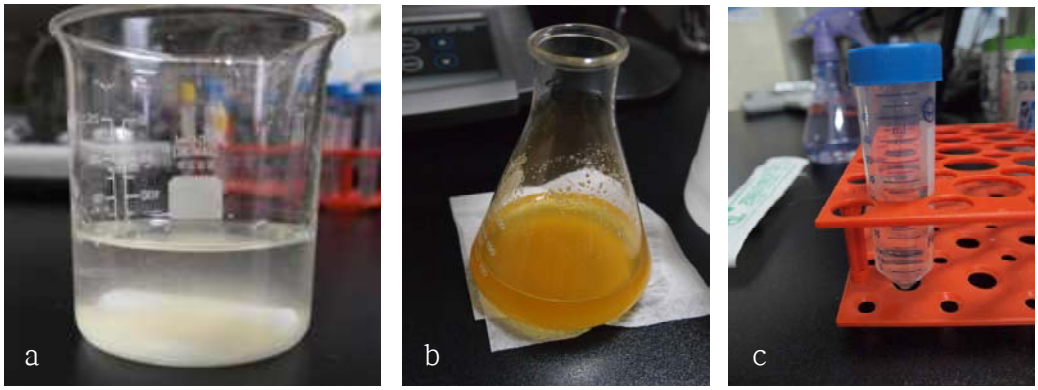
[그림 4-3-6] 알긴산 단량체와 유사한 글루크로닉산을 단일탄소원으로 이용한 *Escherichia coli* MG1655의 회분식 배양결과.

라. 알긴산의 화학적 분해방법의 최적화

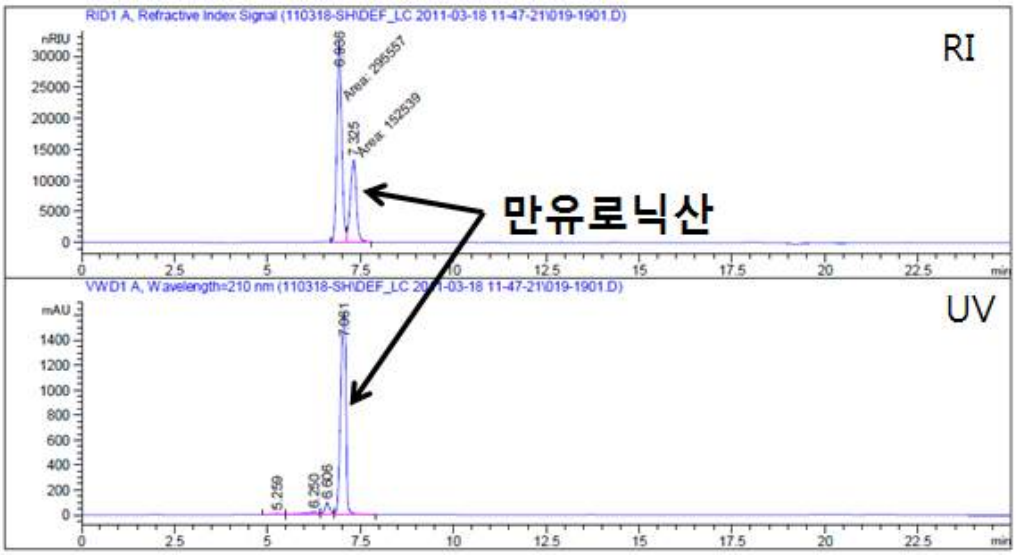
현재까지 알긴산 단량체인 만유로닉산의 상업적 공급은 이루어지지 않고 있기 때문에 화학적 분해방법을 이용하여 알긴산 단량체를 제조하고자 하였다. 그 결과로 알긴산을 1M의 oxalic acid에 넣으면 용해되지 않고 희뿌연 상태가 된다. 그 상태에서 그대로 100℃에서 10시간 동안 두면 [그림 4-3-7]의 b 상태와 같이 현탁액 상태가 되어 알긴산이 용해되어 노란 빛을 보이고, 바닥에는 침전물이 일부 가라앉는다. 이것의 상등액을 분리하여 분말로 만들고 이 분말을 12M의 H_2SO_4로 30분 처리 후 11ml의 ultrapure water를 첨가하면 [그림 4-3-7]의 c 상태가 되어 최종 결과물을 얻을 수 있었다. 이를 중화시킨 후에 HPLC를 이용하여 알긴산 분해물을 분석하였다. [그림 4-3-8]과 같이 HPLC의 크로마토그램을 분석하였을 경우, 두 개의 peak 중, 후자의 경우 알긴산 단량체인 만유로닉산으로 추정할 수 있었고, 이 양은 포도당과 글루쿠로닉산의 양과 비교하여 추정할 경우 20~30 g/L 사이로 측정된다. 본 시료에 함유된 만유로닉산의 정확한 동정을 위해서 GC-MS 분석을 의뢰하였다.

또한 가수분해물의 중화시 첨가되는 NaOH의 양을 최소화하기 위해서 컬럼타입의 resin을 이용하여 중화반응을 대체하였다. Resin은 bio-rad사의 AG® 4×4 anion exchange resin(the resin having a mesh size of 100-200um)을 이용하였다. resin의 원리는 resin은 free base form이고 functional group 은 중성이다. 그래서 만약 mineral acid가 resin을 통과하게 되면 functional group의 nitrogen은 양성화되고 mineral acid가 붙을 수

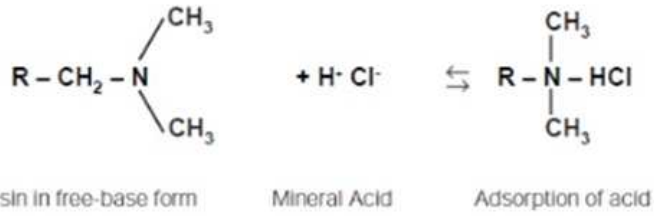
있게 된다. Ion-exchange과정에서 resin의 음이온은 같은 charge를 가진 sample ion으로 대체된다([그림 4-3-9]). 그래서 실험을 수행할 때에는 5g의 resin을 column에 담고 10ml의 증류수로 wash하는 과정을 거친 후 물이 resin의 표면보다 내려가기 전에 7ml의 산처리 가수분해 물을 조금씩 resin이 최대한 부유하지 않게 조심히 column안으로 흘려보냈다. 그리고 sample을 10ml얻어 pH를 재었을 때 pH가 6.0정도 되는 것을 확인하였다.



[그림 4-3-7] 알긴산 산처리 과정. a.알긴산과 oxalic acid 열처리하기 전;
b. 알긴산과 oxalic acid를 100℃에서 10시간 동안 열처리한 후;
c. H2SO4을 넣고 2시간 동안 열처리 후 중화한 최종 product.



[그림 4-3-8] alginate acid treatment의 HPLC analysis.



[그림 4-3-9] Resin을 이용한 mineral acid의 제거원리.

마. 알긴산 단량체 대사효소의 유전정보 확보 및 유전자 증폭

알긴산을 효소적 가수분해방법을 이용하여 생산되는 2-keto-3-deoxy-gluco-aldehyde(KDG)를 대사하는 효소인 KDGA dehydrogenase, KDG kinase, KDPG aldolase의 유전자 시퀀스를 *Flavobacterium johnsoniae*의 유전체 정보를 이용하여 확보하였고 이 유전자를 증폭하기 위한 PCR primer를 제작하였다[23]. 각 유전자의 염기서열은 아래의 [표 4-3-1]과 같다.

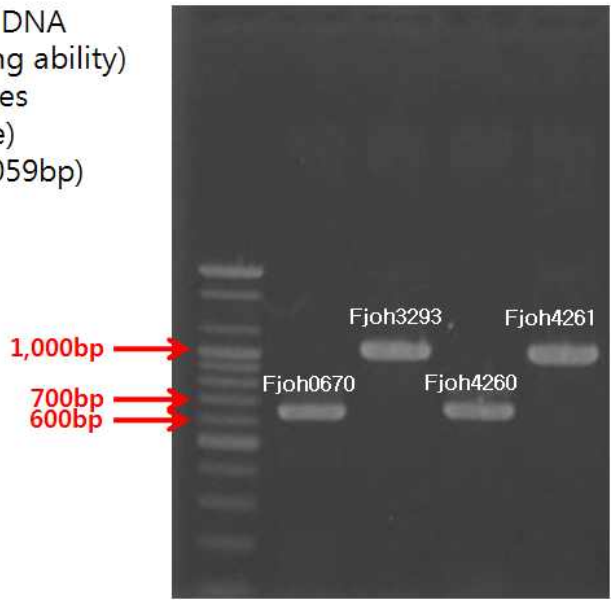
[표 4-3-1] DNA sequences of the genes coding for alginate lysis enzymes and PCR primers for their amplification

Gene name	DNA sequence (5′->3′)	Primer sequence (5′->3′)
KDGA dehydrogenase Fjoh 3293 (1059bp)	atgaatacaagtaacacaaaagcatttggtacaaaagcagcagacgcattgctggaagaaatgacaattgcacgcagagaggttttggcaaaagatgttgagatcgaaattttatactgcggtgtatgccattctgatttacatacagccagaaatgactggggaggaagccaatatccggcagttccggggcatgaaattgtaggaagggtaacgaaagtaggaaacgaagttacgaaacttaaagtcggcgatttagcaggagtgggctgtatggttgattcttgtcatacctgcgaaagctgtaaacaagatttggaacaatattgtttaaacggatttacaggaacttacaatggtaaggataaaaatattggcggacacacttttggcggttattctgagaaagtggtagttgatgagcattttgttttaaaagtgccttcaaatttaaatttagctgctgttgcacctttactttgtgcaggaattacaacctggtcacctttgagacactggaaagttgggaaaggaagtaaagttgctgttgtcggcttaggcggacttggacacatggcaattaaactggcaaaaggtttaggtgccgaagtaactttgttttcaagaactccggataaaatacaagatgcaatcgatttgggcgctgattctgtaattatttctacagatgaccagcaaatgaaatcagtacacggaaaatatgatcttattattgatacagttccttatgtacatgatgttaatccttatgtttctactttaaacatcaacggaactcttgtattagttggttacttaggaggtttagaaccaattttaaattcagtgccaatgattatgggaagaaaatctgttgcgggttctgtaattggaggtattgcagaaacacaagaaatgcttgatttttgcggtgaacataatatcgtttcagaaattgaaattattaaaatgcaggaaatcaacgaagcgtatgaaagaatgctgaaaagcgatgtaagatatcgttttgtaattgatatggattctcttaaatcttaa	f-atgaatacaagtaacacaaar-ttaagatttaagagaatcca
KDG	atggtaaaatataaaaaagatagtatgagtagagtagttgcatttggagaaat	f-atggtaaaata

Kinase Fjoh 4261 (1047bp)	catgctgcgtttatcgacagaaagacatttacgtttttcgcagtcaacagcatttg gtgctacgtatggaggcggagaatttaatgtatgcgtttctcttgcaaattatgg tgtaaatgctgaatttgttacaagattgcctcaaaatgagattggtttatcggcat tgaaagaaatacgaaaaatgaatgtcgaatctaaaaacattgtttatggagga gagcgtttaggaatctattttctggagaccggagccggaacacgcggcagtaa tgtagtgtatgatcgcgcgcacagtgcgatggcatctattgaaaaagggcagg tagactgggagaaagttttagcaggtgctgaatggttccattggagcggtatta cgccggctatttctcaaactgctgcagaagcttgtttagaagctattaaagtggc tcataaactgggaattaaaatttcctgcgatttaaattacagatcaaaattatggc agtacggcaaagcgccaagcgaagttatgccggaaatgctgcaatacagcaa tgttattttaggagacattgatacagcttatttcatgttaggaattccgaaagtaa atccgaattatcaggacgaaaaatcgcttccggttttatatgaaaaattgtttcag ttaatcccgaatttaaaagtagcggcaacgacacttcgttattctgtaagtgcttc acaccaaagaatcggcggtgttttgtttgacggaaaagcaatttatcaggcagc tgtaaaagaggtaactcctgttgtggacagagtaggaagcggtgacgcttttat gggaggattaatttatggactgttagaatatcaaaataataaccagagagcttt agattttgctgttgcggcttgttgtttaaaacatacaattgcaggcgactataatc tggttactttaaaagaagttgaaaatatgattgatggtgatggttctgcattagta tcaagataa	taaaaaagatag tatgag r-ttatcttgatac taatgcagaacc
KDPG Aldolase Fjoh 0670 (648bp)	atgtacagcattttaaaaacgcaaggtgtacttccgttagtaacccaaatcaata tccaaacagcccaaatcgtattgcaatcagcggctgatgctggcataaaaatta tcgagttcgcagctcgtgcagatgatgcaaaagaagtttttgctcaaatgacag cttttaaaaaagaaaacaatttagatgtaaaaatagcagtgggatcgattttaa gtgtggccgatgccgaaacttatcatcaattgggagcagattgtattatctgtcc gcacactgatctggaaattggcaattactgttttaaaaacaatatttactggattc cgggcgctgcaaccttaaatgaaattcttcatgccaacaaactgggtgccgaa gttgtaaaacttttccggctgataaaattggcggaccgggatatgtaaaagca ataagagcgcctttcccaaatttaaaaataatgcccacaggaggcgtaacccttt gaagaaagcaatttaaaatcgtggtttaaatctggagtggtatgcgttggaatt ggttcaaatttattttcaaaagaaatgcttttgaatttaaattatgaagaagcgct ccaggcttttcaaaatttaattgaaggagtagaaaaaacaagaaactaa	f-atgtacagcat tttaaaaacgca ag r-ttagtttcttgtt ttttctactacttc

상기의 표에 제시한 PCR 프라이머를 이용하여 해당하는 유전자 3종을 PCR 증폭하였다. [그림 4-3-10]과 같이 PCR 증폭을 통해서 얻어진 유전자 단량체는 예상한 DNA 크기에 모두 존재하는 것으로 보아 증폭이 성공적으로 수행되었다([그림 4-3-10]).

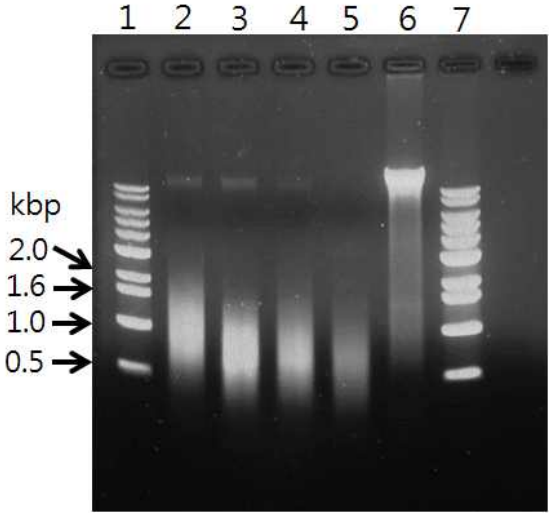
- Template : *F. johnsoniae* genomic DNA
- Taq polymerase (with proof-reading ability)
- Primers specific for individual genes
- Final gene product (estimated size)
  (1) Dehydrogenase : Fjoh 3293 (1059bp)
  (2) Kinase : Fjoh 4261 (1047bp)
  (3) Aldolase : Fjoh 0670 (648bp),
  Fjoh 4260 (669bp)



[그림 4-3-10] KDGA dehydrogenase, KDG kinase, KDPG aldolase 대사효소 유전자의 증폭.

마. *S. degradans*의 genomic library의 제조를 위한 gene fragmentation 조건 결정

*S. degradans*의 genome에 존재하는 알긴산 모노머의 대사과정을 생촉매하는 대사효소의 유전자를 선별하기 위해서 S. degradans가 보유하고 있는 genome를 이용한 유전자 library를 구축하고자 하였다[5,6]. Genomic DNA library를 만들기 위해서 *S. degradans*의 세포 genomic DNA를 추출하였고, 그 농도는 약 50 ug/ml이다. 각 tube에 분주한 DNA 시료를 10~40초 간격으로 sonication하여 gene fragmentation을 하였고, 그 결과는 [그림 4-3-11]과 같다. 10초의 sonication의 경우 0.5~2 kbp 크기의 DNA 편절을 얻을 수 있었고, 10초 이상을 시행한 경우에는 1 kbp 이하의 작은 크기의 DNA 편절을 얻을 수 있었다. 일반적으로 유전정보를 보유한 open reading frame(ORF)의 경우, 1 kbp 이상의 유전자 크기를 갖고 있다. 곧, 일반적인 ORF 크기 이상의 유전자를 보유한 library를 얻기 위해서, 10초의 sonication을 genomic library를 설계하기 위한 조건으로 결정하였고 향후 발현벡터와의 결합을 위한 DNA insert 제조과정에 이용할 것이다.



[그림 4-3-11] Isolation and fragmentation of *S. degradans* genomic DNA
DNA ladder (lane 1 and 7), sonication for 10 sec(lane 2), 20 sec(lane 3), 30 sec(lane 4) and 40 sec(lane 5), S. degradans genomic DNA without sonication(lane 6)

4. 요약 및 제언

본 연구과제를 통해서 갈조류 유래 알긴산 단당류의 미생물 대사경로를 수립하였고, 알긴산 분해형 해양미생물 라이브러리를 구축하였고, 알긴산 유사 유로닉산을 대사할 수 있는 미생물을 선별하였으며, 알긴산 단량체의 제조를 위한 화학적 분해방법을 최적화하였으며, 알긴산 단량체를 대사할 수 있는 핵심효소의 유전자 정보를 획득하였고, 해양미생물 염색체에서 그 유전자를 증폭하였다. 또한 해양미생물 유래의 염색체유전자 라이브러리의 설계 조건을 확립하였다. 상기에 언급하였듯이 난발효성 당류인 알긴산을 대사할 수 있는 대사효소의 검색과 유전자 및 미생물을 선별하였고, 알긴산 유래 단량체의 안정적인 공급을 위해서 알긴산 단량체 제조방법을 개발하였다. 이러한 결과에 대한 타 기관의 선행연구는 전무하여 추가적인 연구를 통해서 강력한 특허 및 우수 논문을 발표할 수 있을 것으로 예상한다.

5. 향후계획

현재까지 진행된 성공적인 연구결과를 바탕으로 다음과 같은 연구를 계획하고 있다. 알긴산 유래의 난발효성 단당류인 만유로닉산을 대사할 수 있는 대사효소 유전자가 도입된 플라스미드의 제조 및 이로 형질전환된 재조합 미생물을 개발할 것이다. 본 연구

팀이 제조한 만유로닉산을 탄소원으로 이용한 배지를 제조하여 형질전환 미생물의 만유로닉산 대사표현형을 규명할 것이고, 이 유전자 발현의 최적화를 통해서 효율적인 만유로닉산 대사형 미생물을 개발할 것이다.

제 4 절 갯벌 유래 Metagenomic library로부터 알긴산 해조 다당체 분해 유전자 탐색 및 저분자 당원확보

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

○ 기후변화협약 대응 및 수산분야 녹색산업화에 의한 신성장동력 창출
○ 해조류의 통합적 활용을 통한 경제적 그린에너지 생산기반 구축
○ 해조류 바이오매스 이용 그린에너지 융합공정 기반 구축
○ 해조류의 혐기성 소화에 의한 bench scale 유기산 생성 공정 구축
○ 해조류의 통합적 활용을 위한 최적 통합공정 설계
○ 해조류의 통합적 활용을 위한 경제성 평가

나. 연구 내용

갯벌유래 Metagenomic library로부터 알긴산 해조 다당체 분해유전자 탐색 및 저분자 당원 확보 :

○ 갯벌 미생물 유전자원의 효율적 활용을 위해 metagenomic library를 구축하고 확립된 신속 탐색기술을 통하여 다시마 유래 알긴산 다당체 분해 유전자를 탐색

○ 해조류 다당체 분해효소 생산을 위해 발현조건을 확립하고 해조 다당으로부터 당원확보 기술개발

2. 연구 방법

가. 실험장치 및 재료

연구수행에 필요한 시료 및 장치들에 대하여 명시함

(1) 메타게놈 스크리닝 : LB broth, Agar, 15ml tube, plasmid miniprep kit, Shaking incubator, IncubatorPCR, Agarose gel, 1kb Marker, Electrophoresis, Spreader, Chemidoc™ XRS+, CPC (Hexadecylpyridinium chloride monohydrate),

(2) 효소활성 측정: LB broth, Agar, Sodium alginate, 15ml tube, 1.5ml tute, CPC (Hexadecylpyridinium chloride monohydrate), Fermentor, Incubator, Lysis buffer, D.W,

96well plate, Hot block, NaOH, HCl, Reducing suger Solution D(Na_2Co_3, KNatartrate, Na_2SO_4), Solution E(96% Sulfuric acid, $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$, $Na_2HASO_4 \cdot 7H_2O$), ELASA, Shaking incubator, NAD+, EDTA, $CaCl_2$, $MgCl_2$, KCl, $MgSO_4$, $FeSO_4$, $CoCl_2$, $MnCl_2$, $CuCl_2$, NaCl , $AgNO_3$, 대용량 냉장원심분리기, UMF(Ultra Membrane Filteration), 3k membrane, Vortex

(3) 저분자 올리고당 제조 및 확인: LB broth, Sodium alginate, 15ml tube, 1.5ml tute, CPC (Hexadecylpyridinium chloride monohydrate), Fermentor, Incubator, NaOH, HCl, Shaking incubator, 대용량 냉장원심분리기, UMF(Ultra Membrane Filteration), 3k membrane, 전개용매통, TLC Silica gel 60 F_{254}, 1-propanol, nitroethanem H2O, Anis-황산용액(p-anis aldehyde, MeOH, Acetic acid, Sulfuric acid), Hot block, Chemidoc™ XRS+,

(4) 해조류 구성성분 분석: oven dryer, HCl, rotary evaporator, sodium citrate loading buffer (pH 2.2), Millipore membrane (0.2 μm pore size), amino acid analyzer (Pharmacia Biochrom 20, Biochrom Ltd. Cambrige, U.K.), centrifugal separator, ethanol, lithium citrate loading buffer (pH 2.2), Fatty acid methyl esters (FAME), GC-2010 (Shimadzu Co., Kyoto, Japan), flame ionization detector (FID), SP-2560 (Supelco, Inc., Bellefonte, PA, U.S.A.), capillary column (0.20-μm stationary phase thickness, 100 m length × 0.25 mm i.d.), automatic injection system (AOC-20i, Shimadzu Co., Kyoto, Japan), Dionex ion chromatography system (DX500, Dionex, Sunnyvale, CA), CarboPac PA10 anion-exchange column (Dionex), CarboPac PA10 guard column (Dionex), NaOH, Duncan's multiple-range tests (SAS, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)

나. 실험 절차

(1) 메타게놈 스크리닝 : 31.7kbp의 fosmid library 386,400 클론에 대하여 168개의 sample을 각각 LB brth에서 37℃, 150rpm, 16~18시간 incubation. plasmid miniprep kit를 이용하여 plasmid 분리, alginate lyase gene(A9mC) specific primer를 이용한 PCR 후, target band 부분이 나온 sample 4개를 CPC (Hexadecylpyridinium chloride monohydrate)을 이용, alginate lyase activity를 확인하고 균주에 대한 순수분리를 함.

(2) 효소활성 측정: 순수분리를 하여 얻은 1종의 potential clone(AlyWL1)을 LB brth에서 37℃, 150rpm, 16~18시간 incubation, fermentor를 이용하여 대량배양한 후, 7000rpm, 25분 원심분리, UMF이용하여 3k 이하 cut off, 0.1% Alginate기질과 3

7℃,150rpm에서 반응하여 최적조건을 잡기위해 pH, Temperature, ion등 환원당 test 진행, 3k이상의 효소액은 0.1% Alginate+LB agar에 CPC (Hexadecylpyridinium chloride monohydrate)을 이용, alginate lyase activity를 확인함.

(3) 저분자 올리고당 제조 및 확인: 전복 소화기관에 존재하는 미생물의 DNA를 이용하여 Fosmid library를 제작하여, 알긴산을 저분자로 가수 분해하는 endolytic alginate lyase 활성을 가진 클론을 확보하였다. pMAL-c2X vector와 Amylose affinity column을 이용한 효소 과발현과 정제과정을 거쳐 recombinant protein(AlyDW11)을 얻어 alginate 올리고머의 다양한 크기를 thin-layer chromatography (TLC)를 이용하여 확인함.

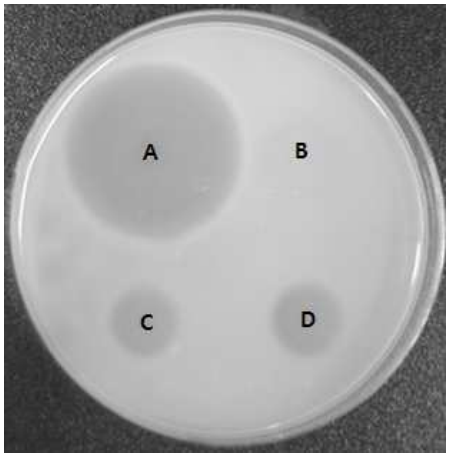
(4) 해조류 구성성분 분석 : 수확기간과 지역 변화에 따른 매생이의 화학 조성을 분석하는 방법으로 12월부터 2월 사이에 매생이를 Janghung, Gohung, Wando에서 각각 샘플링하여 총 아미노산, 유리 아미노산, 지방산 함량의 변화를 관찰함.

3. 연구수행 결과

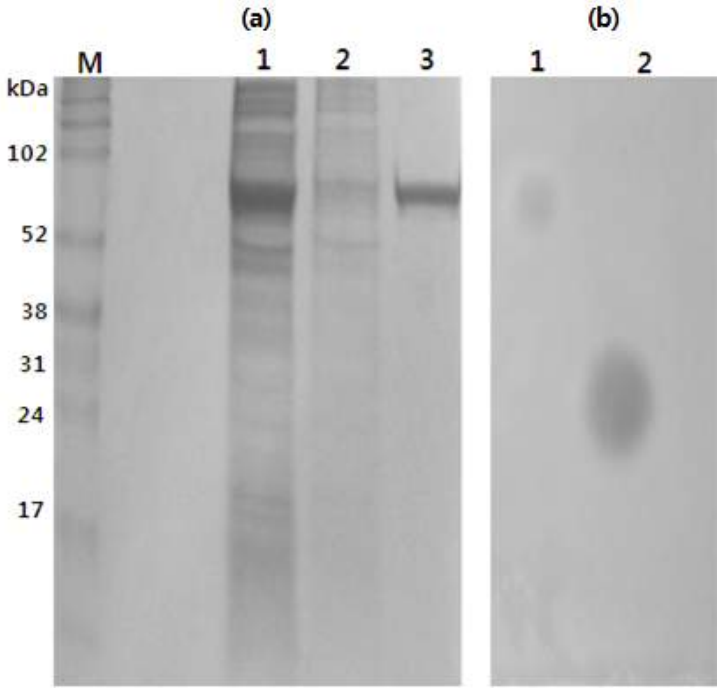
가. Alginate lyase 활성을 가진 metagenomic fosmid library 유래 clone (AlyDW)의 동정 및 특성

(1) Alginate lyase 활성의 가진 metagenomic fosmid library 스크리닝 및 효소 과발현과 정제

전복 소화기관에 존재하는 미생물의 DNA를 추출한 후, 추출된 전체 genomic DNA를 약 32kb의 DNA 절편을 만든 후 insert DNA의 end repairing을 하고 size 선별을 한 후, CopyControl Cloning-Ready vector, pCC1FOS (Fosmid library production kit, Epicentre)에 ligation하고 대장균에 형질전환을 시킨 뒤, 항생제를 함유하고 있는 평판 배지에 도말하고 배양하여 항생제 내성을 나타내는 형질전환주를 선별하여 Fosmid library를 제작하였다. Library로부터 Alginate를 분해활성을 지닌 클론을 스크리닝 한 후 알긴산을 저분자로 가수 분해하는 endolytic alginate lyase 활성을 가진 클론을 확보하였다([그림 4-4-1]). Alginate lyase gene ORF11을 *Bam*H Ⅰ과 *Hind*Ⅲ site를 가진 primer를 이용하여 증폭시킨다. pMAL-c2X vector(NEW ENGLAND BioLabs)에 ligate시켜 *E.coli* BL21(DE3)에 넣은 후, isopropyl-β-D-thiogalactopyranoside (IPTG) 를 이용하여 recombinant protein의 expression을 유도시켜 Amylose affinity column을 이용하여 정제한 샘플을 10% SDS-PAGE로 loading한 결과 77.5kDa에서 clear한 AlyDW11 band을 확인하였다([그림 4-4-2]).



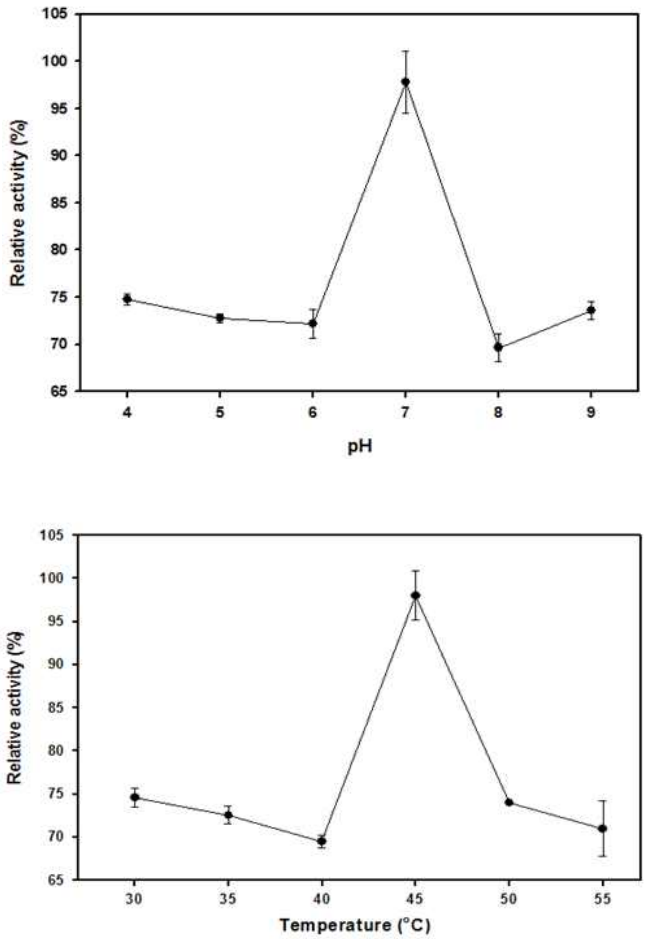
[그림 4-4-1] Cetylpyridinium chloride 법을 활용한 알긴산 분해능 평가.
(A) 양성대조군, *Flavobacterium*sp.유래 상업효소(Sigma);
(B) 음성대조군, *E.coli*;
(C)알긴산 분해 metagenomic fragment (AlyDW) 클론;
(D) recombinant protein (AlyDW11)



[그림 4-4-2] Metagenomic clone (AlyDW)와 recombinant protein (AlyDW11)의 SDS-PAGE analysis 와 zymogram activity staining. (a) SDS-PAGE 후 Coomassie Brilliant Blue R-250을 이용한 염색 M: molecular weight marker protein 1: AlyDW11의 cell lysate 2:Amylose affinity column 을 이용한 washing 과정 3: 최종 elution된 recombinant protein (AlyDW11) (b) Zymogram 활성 염색 1: recombinant protein (AlyDW11) 2: *Flavobacterium* sp. (Sigma)

(2) recombinant protein (AlyDW11) 효소 최적 반응조건 측정

효소용액에 대하여 pH 4.0-10.0 완충액에 0.1%의 sodium alginate를 용해시킨 후 적당량의 효소를 가하여 37℃에서 2시간 반응시킨 후 유리된 환원당을 측정하여 효소의 최적 pH를 결정한다[24]. 결정된 최적 pH에서 15-50℃의 반응온도에서 2시간 반응시킨 후 유리된 환원당을 측정하여 효소의 최적 온도를 결정한다. AlyDW11을 환원당 분석법을 통하여 알긴산 분해 효소의 적정 pH와 온도를 탐색한 결과 45℃에서 가장 높은 활성을 나타내었다. 최적 pH는 pH7에서 나타났고 pH8 보다 큰 pH값에서 activity가 감소하였다([그림 4-4-3]). 금속 이온과 같은 보조인자는 NAD^+와 Mg^{2+}와 Ag^+의 조합이 각각 금속 양이온과 NAD^+ 없는 조건보다, alginate lyase 활동에 대해 1.6과 2.1 배 높은 것을 확인하였다([표 4-4-1]).



[그림 4-4-3] 환원당 분석법을 통한 recombinant protein (AlyDW11)의 알긴산 분해 효소의 적정 pH와 온도의 탐색 결과.

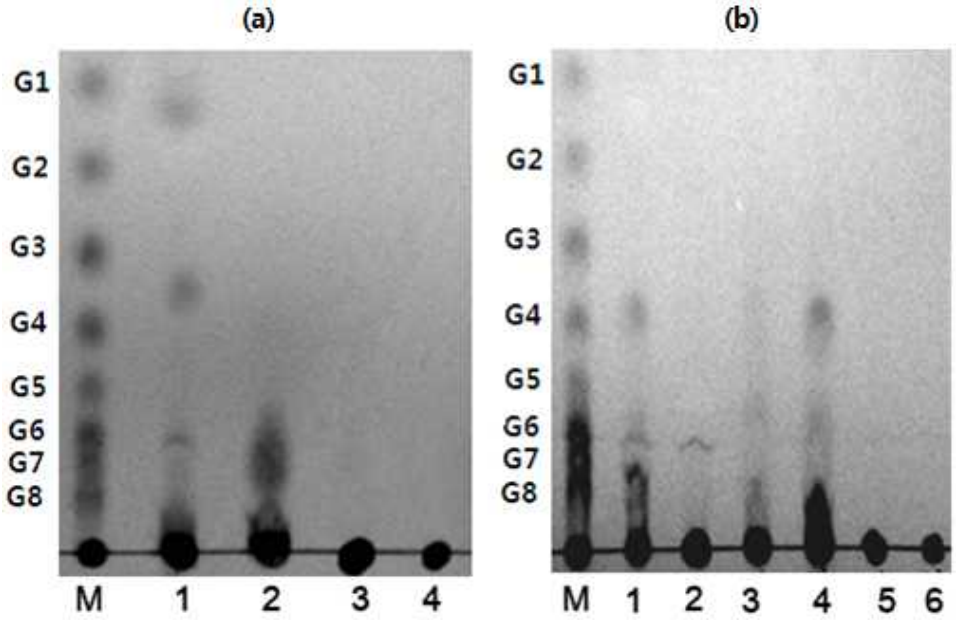
[표 4-4-1] 금속이온과 NAD^+에 의한 alginate lyase 활성 효과

Chemicals	Single	Combination (Cation + NAD+)
None	1.00±0.05	
NAD+ (0.1mM)	0.96±0.01	
EDTA (1mM)	0.75±0.25	
CaCl2 (1mM)	0.95±0.03	1.53±0.20
MgCl2 (1 mM)	0.91±0.03	1.27±0.12
KCl (1 mM)	0.92±0.01	1.43±0.13
MgSO4 (1 mM)	0.93±0.15	1.65±0.05
FeSO4 (1mM)	0.90±0.14	1.20±0.04
CoCl2 (1 mM)	1.08±0.05	1.30±0.14
MnCl2 (1 mM)	0.85±0.01	1.14±0.16
CuCl2 (1 mM)	1.01±0.08	1.10±0.10
NaCl (1 mM)	0.96±0.06	1.20±0.05
AgNO3 (1mM)	1.31±0.03	2.10±0.21

[1]Fold activity was measured relative to the control reading as 1. These data are representative of the mean ± standard deviation of three experiments.

(3) Recombinant protein (AlyDW11)를 이용한 반응산물의 thin layer chromatography 분석

확립된 최적반응조건하에서 분해된 alginate 올리고머의 다양한 크기는 thin-layer chromatography (TLC)에 의하여 관찰되었다[25]. recombinant protein (AlyDW11)은 endolytic activity를 가지고 poly (α-L-guluronate)보다 poly (β-D-mannuronate)의 활성이 좋은 것으로 나타났다. 이 효소는 알긴산과 반응하여 1,000 Da 이하의 alginate 저분자 올리고당을 만드는 반면, 상업효소는 poly (β-D-mannuronate) 보다 poly (α-L-guluronate) 활성이 좋았으며, alginate를 1260에서 1440Da 크기의 올리고당으로 분해하였다([그림 4-4-4]).



[그림4-4-4] 박막 크로마토그래피를 활용한 recombinant protein (AlyDW11)의 알긴 산 분해능 탐색 결과. (a) Recombinant protein (AlyDW11) 효소를 알긴산과 45℃, 3시간 반응(lane 1) 후 알긴산 분해정도 결과. 양성대조군으로 *Flavobacterium* sp. (lane 2), 음성대조군으로 각각 alginate (lane 3), enzyme (lane 4)을 사용하였다. (b) recombinant protein (AlyDW11)을 poly(β-D-mannuronate, lane 1) 와 poly(α-L-guluronate, lane 2)를 45℃에서 3시간 반응시켰을 때 나타나는 가수분해 결과. 양성대조군으로 *Flavobacterium* sp. (poly β-D-mannuronate, lane 3, poly α-L-guluronate, lane 4), 음성대조군으로 (poly β-D-mannuronate, lane 5, poly α-L-guluronate, lane 6)을 사용하였다. M은 G1 Glucose, G2 cellobiose, G3 cellotriose, G4 cellotetraose, G5 cellopentaose, G6 cellohexaose, G7 celloheptaose, G8 cellooctaose의 혼합물을 기준으로 하였다.

4. 요약 및 제언

가. 갯벌 미생물총으로 구성된 metagenomic fosmid library를 이용한 alginate lyase gene을 암호화한 genomic fragment 스크리닝 및 clone(AlyWL)의 특성

metagenomic fosmid library의 386,400 클론에 대하여 alginate lyase gene(A9mC) specific primer를 이용한 High-throughput screening (HTS) 방법으로 algianate lyase gene을 확인하였다. 그리고 cetylpyridinium chloride (CPC) assay를 통하여 alginate lyase activity를 확인하고 균주에 대한 순수분리를 하여 1종의 potential clone(AlyWL1)의 여부를 을 확보하였다. 또한 효소의 적정 pH와 온도를 탐색한 결과 pH6, 32℃에서 가장 높은 활성을 나타내었고, 금속 이온과 같은 보조인자는 NAD^+ 없는 조건에서 Ag^+와의 조합이 NAD^+ 와 각각 이온과의 조건보다, alginate lyase 활동에 대해 확실히 높은 것을 EDTA와

의 활성을 통하여 확인하였다. 이 클론은 세포 외 환경으로 alginate lyase를 분비하고, alginate로부터 oligomer 생산을 위한 유용한 resource 일 것이다. 이러한 분석은 특이적인 primer를 이용하여 효소의 분리 정제 후 microtiter plate에서의 배양을 통하여 확인하는 과정을 대신하는 장점을 가지고 있고, metagenomic library screening에 적용할 수 있어서 빠르고 쉬운 분석 방법이다.

나. Alginate lyase 활성을 가진 metagenomic fosmid library 유래 clone (AlyDW)의 동정 및 특성

전복 소화기관에 존재하는 미생물의 DNA를 이용하여 Fosmid library를 제작하여, 알긴산을 저분자로 가수 분해하는 endolytic alginate lyase 활성을 가진 클론을 확보하였다. pMAL-c2X vector와 Amylose affinity column을 이용한 효소 과발현과 정제과정을 거쳐 recombinant protein(AlyDW11)을 얻었고, SDS-PAGE를 통하여 약 77.5kDa에서 overexpression된 recombinant protein(AlyDW11)을 확인하였다. AlyDW11 효소의 적정 pH와 온도를 탐색한 결과 pH7, 45℃에서 가장 높은 활성을 나타내었다. 금속 이온과 같은 보조인자는 NAD^+와 Mg^{2+}와 Ag^+의 조합이 각각 금속 양이온과 NAD^+ 없는 조건보다, alginate lyase 활동에 대해 1.6과 2.1 배 높은 것을 확인하였다. alginate 올리고머의 다양한 크기는 thin-layer chromatography (TLC)에 의하여 관찰되었다. AlyDW11은 endolytic activity를 가지고 poly (α-L-guluronate)보다 poly (β-D-mannuronate)의 활성이 좋은 것으로 나타났으며 이는 대부분의 해양 연체생물에서 endo-poly (M) lyase가 관찰된 점과 의미를 같이한다[5-8]. 이 효소는 알긴산과 반응하여 1,000 Da 이하의 alginate 저분자 올리고당을 만들어내며 이것은 기존 상업효소(*Flavobacterium* sp., Sigma)보다 적은 분자량을 생산할 수 있는 효소임을 보여준다.

5. 향후계획

가. 갯벌유래 Metagenomic library로부터 알긴산 해조다당체 분해유전자 탐색 및 저분자당원 확보와 분해유전자 ORF분석 및 발현확립

나. 효소/방사선 조사를 활용한 저분자화 기술과 알긴산 저분자 대량 확보

다. 저분자당의 크기별 분획 및 기능성 평가

제 5 절 부탄올 생산균주 및 발효공정 개발

1. 연구 목적 및 내용

가. 연구 목적

최종목표: 통합생물공정 (consolidated bioprocessing)을 이용하여 해조류계 바이오 부탄올을 생산하는 재조합 균주를 개발하고 공정에 응용한다

(1) CBP를위한 고수율 부탄올생산을 위한 재조합균주개발과 핵심 설계 기술선정: 효소와 대사체 profiling에서 도출된 다양한 유전자 또는 효소들을 분석하고 과발현등을 통해 CBP에 적합한 재조합 균주를 설계한다
(2) 해조류내에 존재하는 당의 효율적 이용과 부탄올로의 전환이 가능한 맞춤형 균주개발의 플랫폼 구축을 위한 기반을 확립한다

나. 연구 내용

(1) 통합생물공정에 적합한 맞춤형 재조합 부탄올 생산균주의 조건을 도출하고 설계한다

(가) 대사공학을 이용한 고수율 내성증진 부탄올 생산균주 설계:
- hydrogenase gene knockout에 의한 고수율 부탄올생산균주 개발
- NiFE hydrogenase를 발현하는 유전자 (*hupL, hypQ3Q4*)들을 교란하여 2가지의 서로 다른 균주를 개발하고 부탄올 생산 수율등의 특성을 분석한다
- 연구관련 SCI논문 1편 제출완료 (Molecular Microbiology, IF 6.0)

(나) 부탄올 균주가 생산하는 가수분해효소 및 대사체의 Profiling
- 외부 유전자 발현 (heterologous expression of laminaranase gene)을 통한 다시마의 주요 탄수화물 성분인 laminaran 분해 능력이 있는 부탄올 생산균주를 개발한다.
- 다른 종의 Clostridium균주 (L2-50 혹은 beijerinackii)에서 laminaran분해효소를 클로닝하여 부탄올생산 platform균주 (*C. acetobutylicum*)에 발현을 시켜 선별한다.

(다) 선별된 재조합 균주들의 특성을 분석하고 부탄올 생산을 최적화한다.
- Hydrogenase gene knockout 균주들의 부탄올 생산능, 발효특성 및 대사특성을 조사한다.

- Laminaran분해하여 부탄올을 생산하는 재조합 균주의 효소 활성 및 대사특성을 분석하여 전처리 없이 다시마에서 부탄올 생산을 최적화한다.

2. 연구 방법

가. 실험장치 및 재료

(1) 실험장치

Anaerobic chamber: 혐기균주의 배양과 유전자 조작 및 돌연변이 선별을 위한 무산소 시설
Incubator (steady, shaking): 균주배양용
refridgerated centrifuge: 다양한 실험에 적용
Anaerobic vials/jars
Gas exchange station equipped with regulator, vacumm and nitrogen tank
Autoclave 멸균기
Electrophoresis station
Electrotransformation pulser: 재조합균주를 만들기 위한 transformation 도구
Refridgerator: 시약 및 균주 보관
Freezer (-80°C):시약 및 균주 보관
Fermentor: 발효조
Anaylisis: GC, LC, Spectophotometer 등: 발효산물 분석
pipettes, 기타 초자 및 소모품등
water bath
heating block등

(2) 실험재료

Strains: *E. coli*, *Clostsridium acetobutylicum, Clostridium beijerinckii, Clostridium phytofermentans, Clostridium L2-50*
Restriction enzymes
Moelcular biology kit
Tools for strain engineering: cloning vector, expression/shuttle vector. gene deletion /knockout tools (commercial or MTA bases)
Media, Chemicals
oligo 합성

(3) 분석용역

sequenece analysis, fatty acid 분석, product분석 등

나. 실험 절차

(1) 통합생물공정에 적합한 맞춤형 재조합 부탄올 생산균주를 설계하고 선별한다.

(가) 대사공학을 이용한 고수율 내성증진 부탄올 생산균주 설계:

- hydrogenase gene knockout에 의한 고수율 부탄올생산균주 개발한다.
- NiFE hydrogenase를 발현하는 유전자 (*hupL, hypQ3Q4*)들을 교란하여 2가지의 서로 다른 균주를 개발하고 부탄올 생산 수율등의 특성을 분석한다.
- 연련 SCI논문 1편 제출 (Molecular Microbiology, IF 6.0) , review중

(나) 부탄올 균주가 생산하는 가수분해효소 및 대사체의 Profiling

- 외부 유전자 발현 (heterologous expression of laminaranase gene)을 통한 다시마의 주요 탄수화물 성분인 laminaran 분해 능력이 있는 부탄올 생산균주의 개발한다.
- 다른 종의 Clostridium균주 (L2-50)에서 laminaran분해효소를 클로닝하여 부탄올생산균주에 발현을 시켜 선별한다.

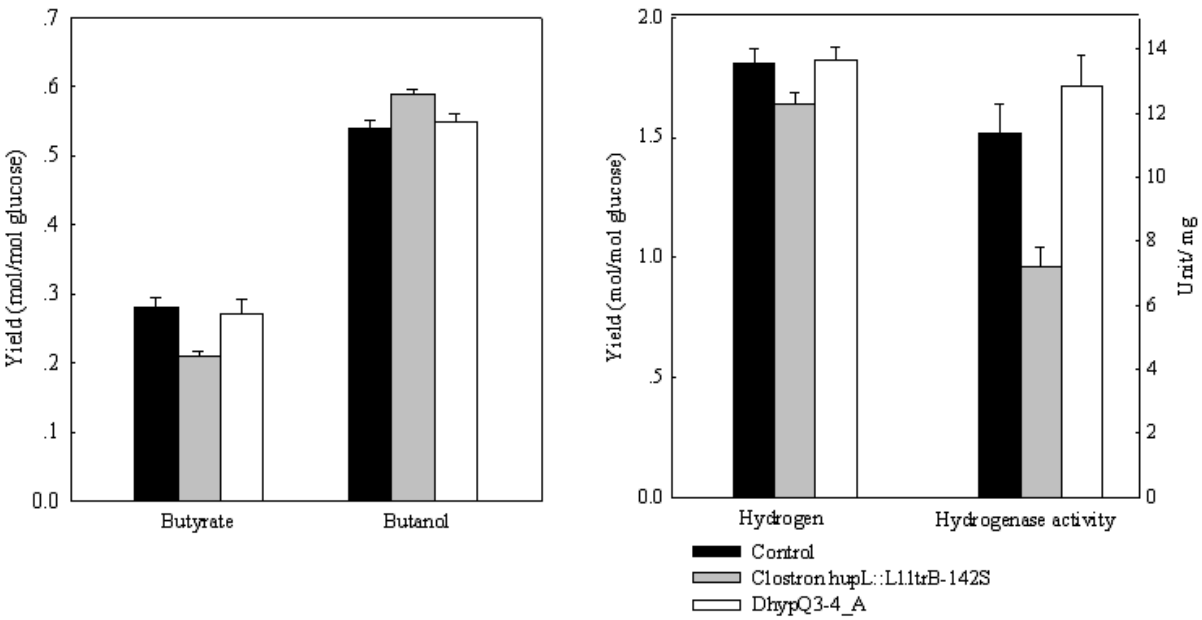
(다) 선별된 재조합 균주들의 특성을 분석하고 부탄올 생산을 최적화함

- Hydrogenase gene knockout 균주들의 부탄올 생산능, 발효특성 및 대사특성을 조사한다.
- Laminaran분해하여 부탄올을 생산하는 재조합 균주의 효소 활성 및 대사특성을 분석하여 전처리 없이 다시마에서 부탄올 생산을 최적화한다.

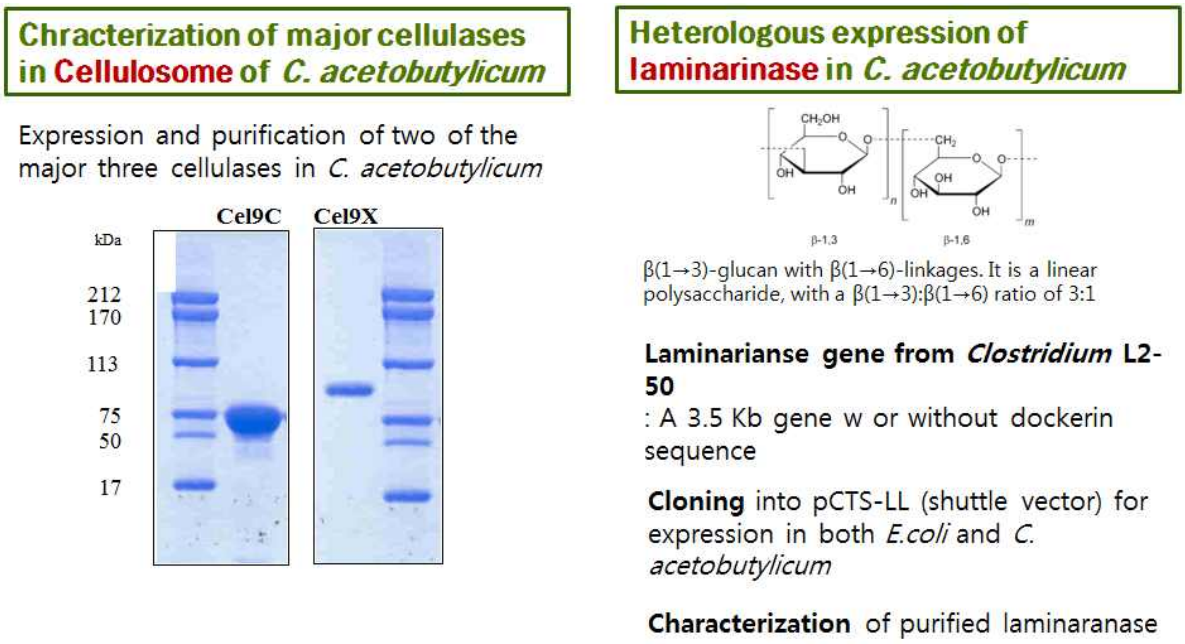
3. 연구수행 결과

가. Hydrogenase knockout 에 의한 수율향상: 10% yield 향상: hupL and hypQ3Q4 mutant (논문 review중, Molecular Microbiology, SCI) ([그림 4-5-1] 참조)

나. 균주내 이미 존재하는 비활성 cellulosome의 특성 분석(논문 제출준비중, FEMS Microbiology Letter, SCI) ([그림 4-5-2] 참조)

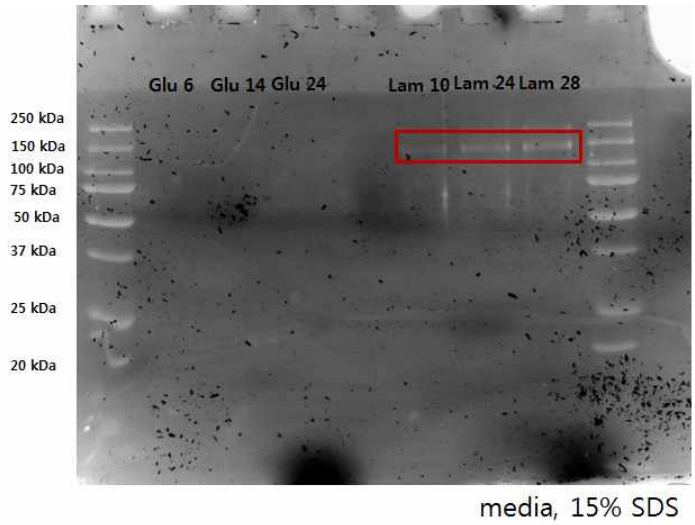


[그림 4-5-1] Hydrogenase mutants의 특성분석.



[그림 4-5-2] CBP용 부탄올 생산균주의 가수분해효소의 생산조절.

다. 다시마의 두번째 주요성분인 laminaran가수분해효소의 heterologous expression strategy를 도출하였다([그림 4-5-2]와 [그림 4-5-3] 참조).



[그림 4-5-3] 부탄올 생산균주의 laminarinase효소의 유도생산.

4. 요약 및 제언

가. CBP를 위한 맞춤형 부탄올생산균주의 개량하였다.

(1) 수율향상:hydrogenase gene knockout에 의한 고수율 부탄올생산플랫폼균주 2종 선별하였다. (hupL, hypQ3Q4 mutants)

(2) 해조류 당분해효소 발현: laminarinase, cellulosome에 관한 연구 진행중, laminaranase의 heterologous expression과 고유의 cellulosome의 보수가 진행되고 있으며, 다시마의 주요 탄수화물 성분을 분해할 수 있는 재조합균주를 설계하고 특성을 분석할 예정이다.

5. 향후계획

가. 해조류 바이오매스 활용 CBP부탄올 발효 기반공정 개발한다.

(1) 해조류 및 해조류당화액을 기질로 하는 바이오 부탄올 생산 기반공정 개발한다.

(2) 반응조건 최적화 및 생산성 향상 인자 도출한다.
(3) 해조류를 이용한 부탄올 발효의 최적화를 시도한다.

나. 고수율 부탄올생산을 위한 재조합균주개발 (CBP)를 위한 균주의 재설계 및 특성을 분석한다.

(1) 도출된 유전자 및 인자들의 다양한 조합을 이용하여 고수율 부탄올균주를 재설계한다.
(2) 대사공학을 이용한 부탄올 발효 수율 향상 기술 개발한다.
(3) 다양한 형질의 재조합 균주 설계 및 맞춤형균주 개발을 위한 플랫폼기술 구축 및 CBP에 적합한 부탄올생산 재조합균주 개발한다.

다. Pervaporation을 이용한 해조류계 바이오부탄올의 분리정제 기술 개발한다.

(1) 다양한 membrane을 적용하고 비교하여 *in situ*-continuous 최적의 부탄올 분리정제 조건을 도출한다.
(2) 분석 및 다양한 기술의 적용이 요구됨에 따라 국내외 경험있는 다른 우수연구그룹 및 기업/연구소와의 협력연구가 진행될 예정이다. (예, metabolomics, metabolic engineering, large scale 부탄올생산공정등)
(3) pervaporation의 전문가인 Dr. Nasib Qureshi (USDA, Peoria, IL USA)의 자문 및 협력연구을 추진중이다.

제 5 장

목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구 개발의 목표 및 달성도

제 2 절 기술 구성 및 연계도

제 3 절 향후 계획

제 5 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구 개발의 목표 및 달성도

1. 연구 개발의 목표

구분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
대량 생산	해조류 양식종 및 적지 선정	○ 대상종 탐색 및 선정 ○ 새로운 종묘생산 기술개발
	외해 해면양성 및 생산관리 시스템	○ 외해 해면양성 수치시뮬레이션 ○ 현장관측 ○ 시스템의 구성요소 별 개념 설계 및 전체시스템 구성
	양식시설 모니터링	○ 양식장 해양환경 인자별 모니터링 개발 기반연구 ○ 유비쿼터스형 양식장 실시간 감시 기술 개발 기반연구/개념설계
통합 활용	건강신소재 개발	○ 동물실험을 통한 다시마 항염증 물질의 효과 규명 및 독성 시험 ○ 동물실험을 통한 모자반 항비만 물질의 효과 확인
	생물학적 전환공정 개발	○ 알긴산의 효소적 분해산물(당화물)의 분리정제 공정 확립 ○ 알긴산 효소적 분해산물(당화물)의 LC-MS 이용 중합도 및 질량 분석 ○ 알긴산 효소적 분해산물(당화물)의 NMR 이용 구조분석
	난발효성 당류 대사형 재조합 개발	○ 알긴산 유래 유로닉산의 대사경로 수립 ○ 난발효성 알긴산 대사 효소의 유전자 클로닝 및 발현벡터 제조 ○ 갯벌 유래 Metagenomic library 추가 구축 ○ 해조 저분자 당원 구조분석
	부탄올 생산균주 및 발효공정 개발	○ [Ni-Fe]hydrogenase의 knockout 균주외의 hydrogenase maturation enzyme의 deletion 균주를 설계하고 발효특성 분석 ○ laminaranase의 heterologous expression과 균주내 존재하는 비활성 cellulase가 활성화된 균주의 설계 및 해조류 가수분해 특성 분석

2. 계획대비 달성도

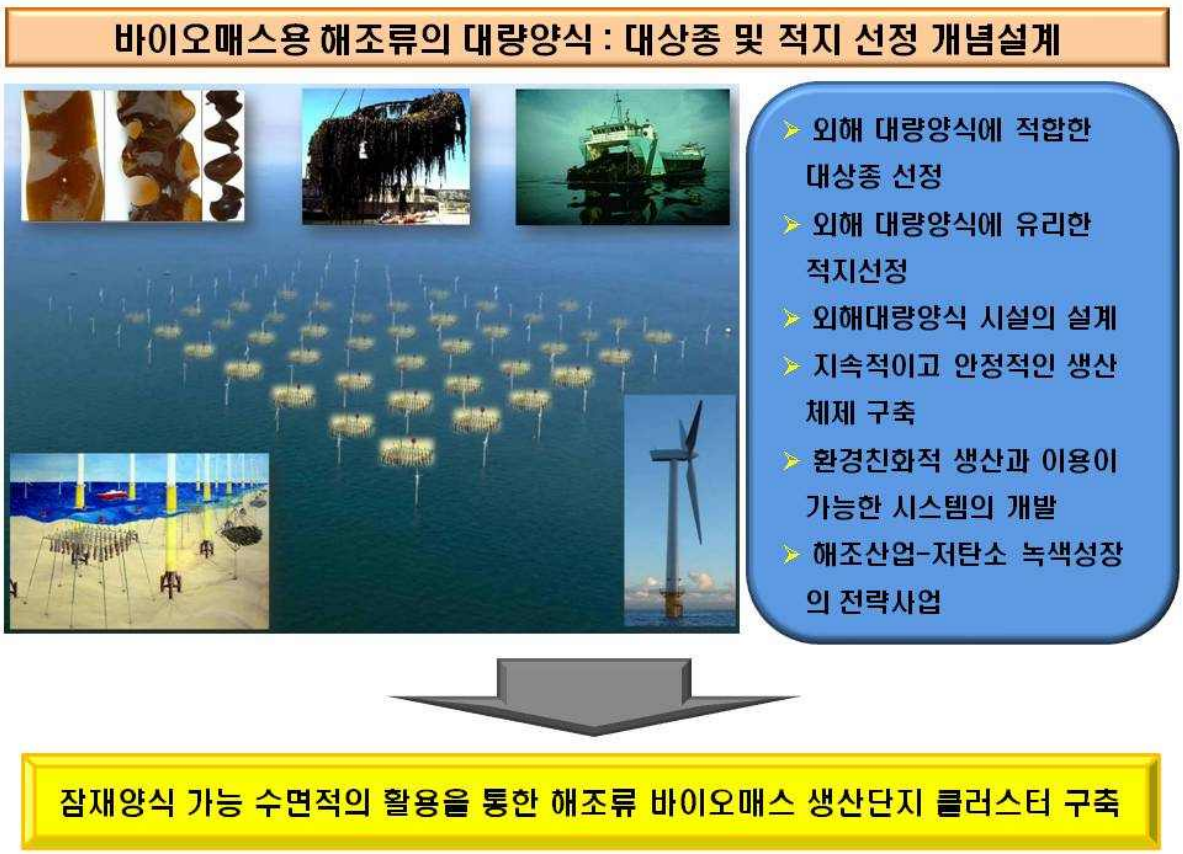
번호	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
1	해조류 3종이상 종묘생산	- 종묘생산을 통한 대상종의 종묘 확보	90
2	대상종 탐색	- 대량생산 대상종으로서 생산성-1종은 완료, 추가 3종에 대한 연구 계속 - 시험어장 대상-100% - 연구교습어장 대상-90%	95
3	미이용 해역(외해)의 적지개발	- 연구교습어장 확보-100% - 적지로서의 타당성-80%(수행 중)	90
4	외해 해조류대량양식 구조물의 설계 개념 정립	- 국·내외 해조류대량양식 설계사례 조사 - 외해 양식에 적합한 구조물 설계 개념 제시	100
5	물리·생물학적 설계인자의 분석 및 해석	- 적지선정 및 양식구조물 설계시 외력과 환경조건에 대한 분석 - 해석 시스템 구성 및 적용	100
6	구조물 시스템 구성요소의 특성 분석	- 구조물 구성요소별 중요도와 안전성에 중점을 둔 구조물 시스템 제안	95
7	외해 해조류대량양식 구조물의 형상 도출	- 소규모 고정식(파일식) 구조물을 기반으로 효율적인 양식장 배치 및 형상 도출	95
8	시스템의 구성요소 별 개념 설계 및 전체시스템 구성	- 재해에 안전하고 지속적인 생산이 가능한 고정식 양식 구조물 개념도 작성 및 시스템 특성 제시	95
9	물리환경인자 지표를 통한 최적 채취장비 및 선박개념설계	- 대상 해조류 및 양식방법에 따른 효율적인 채취 방법 고안 및 장비, 선박 개념설계 제시	90

번호	세부연구목표 (연구계획서상에 기술된 연구목표)	달성내용	달성도 (%)
10	해중/해상 해양환경 인자 모니터링 자동화 기법 조사 분석	- 기존 연구/실증 사례를 바탕으로 해양환경 인자 모니터링 방법과 관측기기, 설치방법에 대한 정리 함	100
11	원시 데이터의 육상 전송을 위한 해상관측 시스템 구축	- 해상 환경데이터 및 영상 전송을 위한 무선 통신 시스템의 개념설계화	90
12	원시 데이터 통합관리 DB 구축 및 사용자 인터페이스 최적화	- 육상 전송 데이터의 DB구축 및 GUI를 이용한 사용자 인터페이스 최적화 방법에 대한 사례분석 및 개선방안 제시	90
13	동물실험을 통한 다시마 항염증 물질의 독성 시험 및 효과 확인	- ICR 마우스를 이용하여 다시마 주정추출물과 헥산 획분의 독성을 시험한 결과 625 mg/kg bw/day 이하에서는 안전한 것을 파악	100
14	동물실험을 통한 모자반 항비만 물질의 독성 시험 및 효과 확인	- 모자반 항비만 물질의 독성 시험 결과, 800 mg/kg bw/day 이하에서는 안전한 것으로 파악.	100
15	alginate lyase 클로닝	- 세 개의 alginate lyase 클로닝	100
16	alginate lyase 특성 분석	- Alg7B alginate lyse의 단백질 발현 확인, 특성 분석 및 반응산물 확인 완료	100
17	monosugar 전환 효소 탐색	- 잠재적 monosugar 전환효소 단백질 발현 확인 완료	90
18	난발효성 단당류 대사형 미생물 1종	- 난발효성 단당류 대사형 미생물 2종 확보	100
19	난발효성 단당류 대사유전자 정보 및 유전자 각각 3개 이상	- 난발효성 단당류 대사유전자 정보 및 유전자 각 4개 확보	100
20	전복유래 Metagenomic library로부터 저분자당원 확보	- Poly (β-D-mannuronate) 생산 특이성이 있는 효소의 발효기를 활용한 대량생산 조건 확립 - 1,000 Da 이하 단당 추정 물질 생산 및 991-1,153 Da 크기의 alginate 저분자 올리고당 확보	100

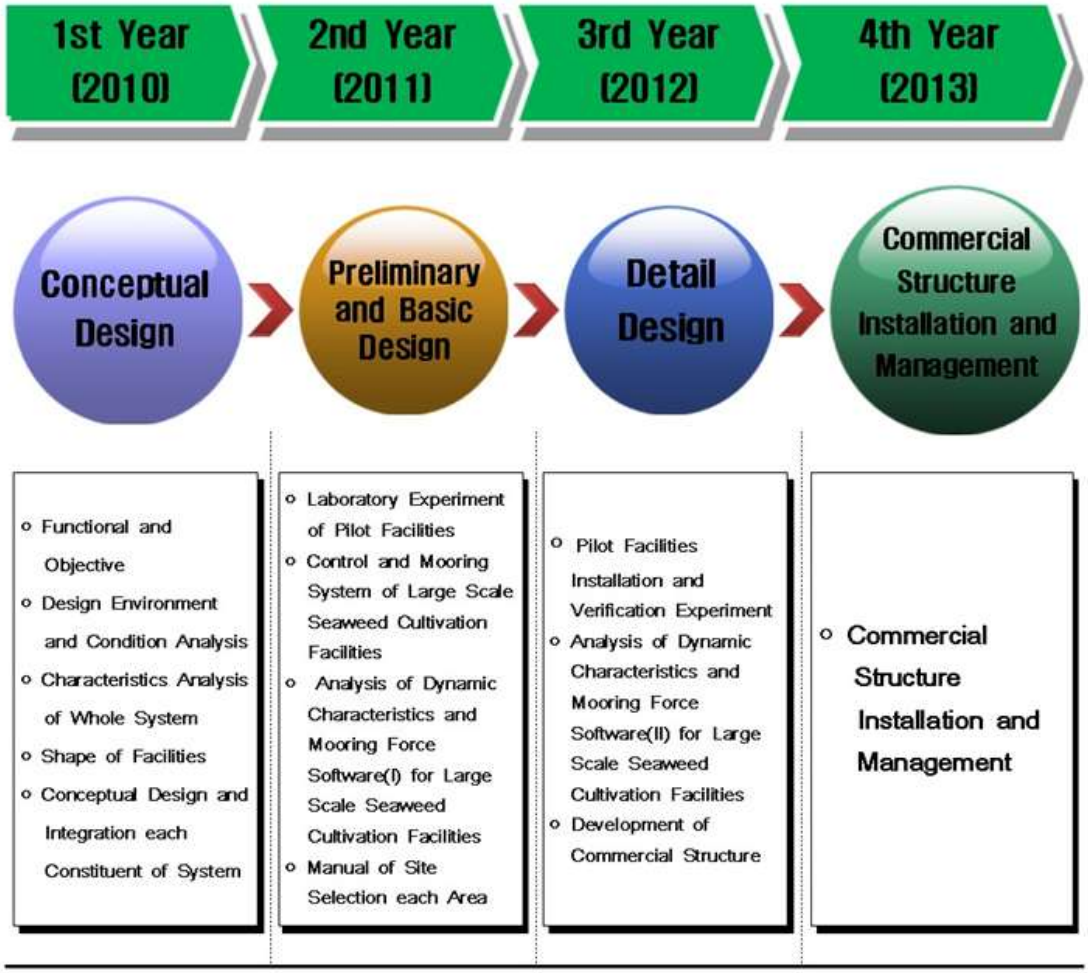
제 2 절 기술 구성 및 연계도

1. 해조류 바이오매스의 대량생산

저탄소 녹색성장에 부응하는 비식용 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위해서는 해조류의 대량 생산은 기본적으로 다루어야 하는 분야이다. 본 사업의 용역기간 동안 연안 해조류 양식 첨단융합기술을 적용하여 경제성이 확보된 세계 최초의 친환경 대규모 외해 해조류 양식시스템을 제시하였으며, 외해에서 생산된 해조류를 채취하고 이송하는 자동화 기법을 개발하였으며, 전 과정을 관리할 수 있는 해조류 대량 생산환경 모니터일 시스템을 구축하였다. 본 사업을 수행한 결과를 바탕으로 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터를 구축할 수 있었다. [그림 5-2-1]은 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터 구축 상세도이다. [그림 5-2-2]에 대량생산의 연차적 수행 상세도를 제시하였다.



[그림 5-2-1] 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터 구축



[그림 5-2-2] 대량생산의 연차적 계획 상세도.

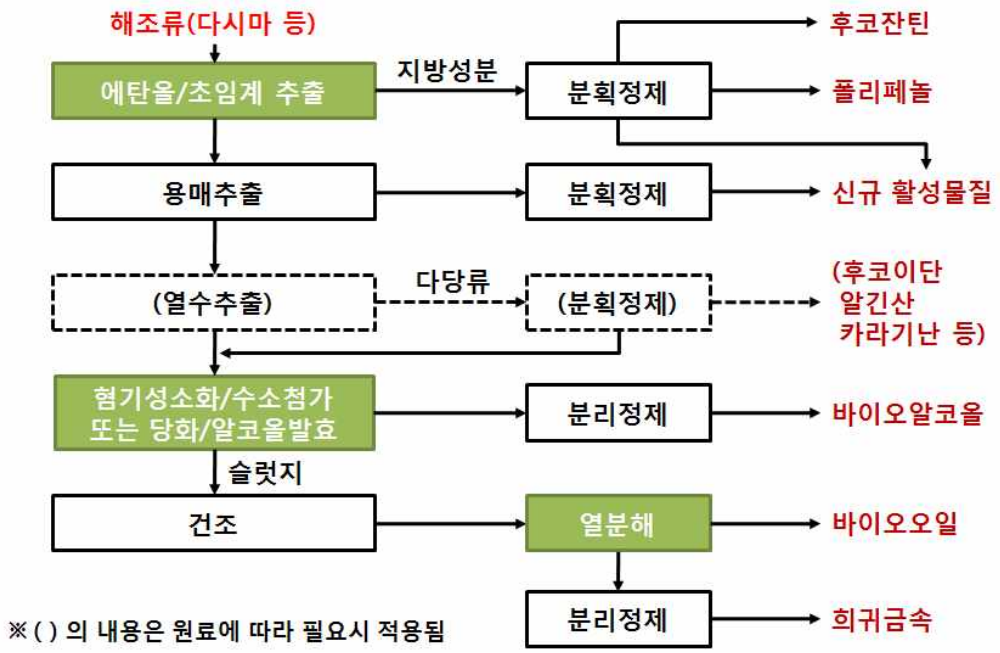
2. 해조류 바이오매스의 통합활용

본 사업을 수행하여 확보한 결과로부터 해조류 바이오매스의 통합적 활용방안을 가시적으로 도출하였다. 통합적 활용반안은 [그림 5-2-3]과 같이 다시마 1톤으로부터 휘발성 유기산 4000kg, 혼합알코올 260kg을 얻을 수 있는 것으로 파악되었다. 또한 급속 열분해 과정을 통해 바이오오일도 95kg 회수가능한 것으로 파악되었다.

해조류 바이오매스의 통합적 활용기술을 위한 체계도를 [그림 5-2-4]와 같이 구축할 수 있다. 먼저 에탄올/초임계, 용매, 열수 등의 여러 추출기술을 적용하고 분획을 정제하여 후코잔틴, 폴리페놀, 후코이단, 알긴산, 카리기난, 신규 활성물질 등을 회수할 수 있을 것이다. 이와 같이 유용성분이 제거도니 해조류 바이오매스는 혐기성 소화 및 수소첨가 또는 당화 및 알코올 발효을 통하여 바이오알코올을 생산할 수 있을 것이다. 이후 슬러지를 건조하여 급속 열분해공정에 투입하여 바이오오일을 생산하고 고상 또는 액상

에 농축된 희귀금속을 회수하는 통합적 활용기술 체계도를 완성할 수 있다. 연구가 지속될수록 체계도는 더욱 상세한 형태를 갖추게 될 것으로 기대한다.

[그림 5-2-3] 해조류 바이오매스 에너지화 통합공정도.



[그림 5-2-4] 향후 해조류 바이오매스의 통합적 활용기술의 가치사슬.

제 3 절 향후 계획

1. 해조류 바이오매스의 대량생산

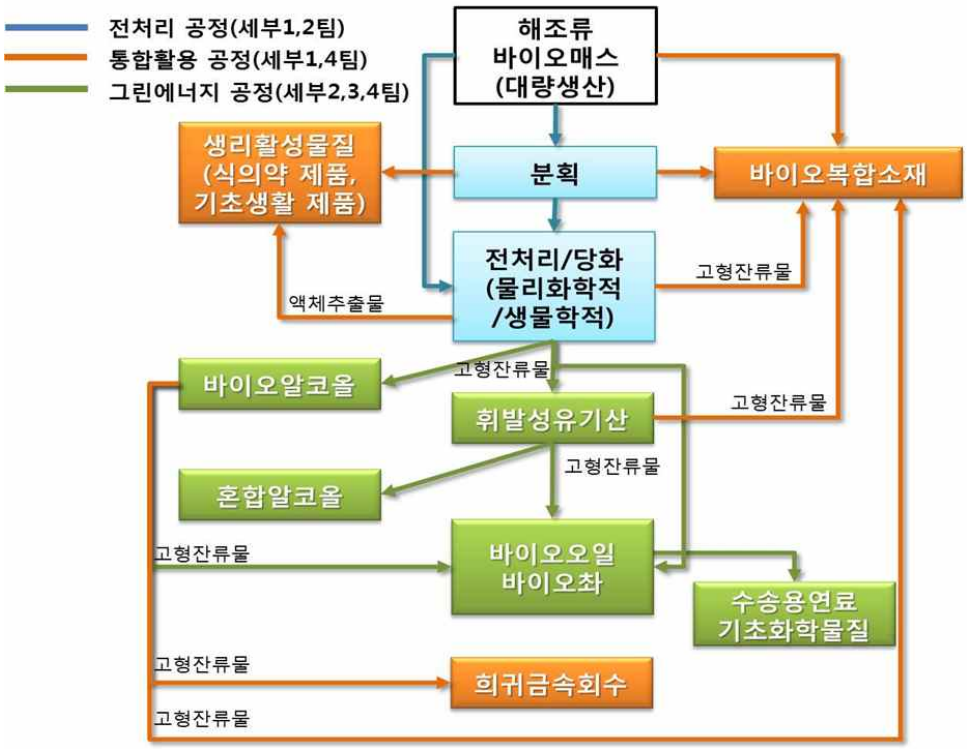
본 용역사업을 통하여 다양한 기술들을 바이오매스용 해조류의 대량생산 기술개발을 위하여 적용하였으며 그 결과 여러 가능성을 확인할 수 있었다. 하지만 국내에서 처음으로 시도한 연구인 동시에 외해 해조류 양식기술에 대한 경험 및 학술적 지식이 다소 부족하여 지속적인 추가 연구가 필요하다고 판단된다. 특히, 본 용역사업은 외해에서 비식용 해조류 바이오매스를 대량으로 확보하는 것이 필수 요소 기술이므로 부분적인 추가연구가 필요하다고 사료되어, 차년도에서는 종묘 생산 및 보존에 대한 연구를 추가로 수행하고자 한다. 아래의 [그림 5-3-1]에서와 같이 크게 두가지 연구 분야로 구성하였으며, 세부1에서는 바이오매스 해조류 대량생산 기술개발 및 적지선정에 대한 연구를, 세부2에서는 외해 생산관리 시스템에 대한 연구를 수행한다. 먼저 세부1연구에서는 외해 환경 및 대량양식에 적합한 적지선정 및 바이오매스용 해조류 신품종을 개발하고, 또한 바다 영양염 및 해조류 분석을 통한 database를 구축하고자 한다. 세부2연구에서는 해조류 바이오매스의 생산 극대화를 위한 외해용 양식시설과 이를 채취 및 운송, 생산환경 모니터링 시스템을 개발을 통하여 공학적이고 입체적인 외해 자동화 대량생산 시스템을 구축하고자 한다. 끝으로 현재 우리나라는 세계적인 해조류 양식기술을 보유하고 있으며, 지정학적으로도 3면인 바다를 가지고 있어, 해조류 바이오매스 개발 및 확보에 유리하다고 판단된다. 이에 본 기술이 국제적으로 선점하기 위해 Pilot Plant 규모의 외해 대량양식 시험연구가 조속히 이루어져야하며, 이를 위해 정부는 충분한 연구자금 및 재원에 대한 투자가 시급하다고 생각된다.

[그림 5-3-1] 해조류 바이오매스 활용을 위한 기술통합공정도

2. 해조류 바이오매스의 통합활용

본 용역사업을 통하여 해조류 바이오매스의 통합적 활용을 위하여 1차년도연구결과에 이어 보다 구체적이고 다양한 기술을 적용하였으며, 그 결과 보다 구체적인 기술통합연계도를 도출하여 [그림 5-3-2]와 같이 나타내었다. 본 연구의 목적달성을 위해 4가지 분야의 세부연구로 구성하였다. 세부1연구의 건강신소재 개발팀에서는 해조류의 통합적 활용을 위한 원료의 데이터베이스 구축과 해조류로부터 생리활성물질의 대량분리조건 확립 및 건강기능성 식품 소재화를 통한 고부가가치화 기술개발을 수행하며, 세부2연구의 생물학적 전환공정개발팀에서는 해조류에 포함된 탄수화물 또는 당으로부터 생물학적 전처리 및 당화공정의 개발을 통한 고수율 발효성 당류 및 바이오알코올 생산기술 개발 연구를, 세부3연구의 그린에너지 융합공정개발팀에서는 그린에너지를 생산하기 위한 탄소원인 해조류로부터 경제성 있는 공정을 개발하고, 현재까지 가장 높은 에너지 회수율을 보이는 혼합알코올 생산 기술개발 연구, 또한, 알코올로는 만족시킬 수 없는 다양한 품질의 연료 확보가 가능한 바이오오일 생산기술 개발 및 고품질화 방안 도출 연구수행, 세부4연구의 통합활용 및 제품개발팀에서는 해조류 바이오매스로부터 통합적 활용을 위한 최적의 통합공정 설계 및 경제성을 평가하고, 단위공정에서 발생되는 해조류 부산물을 활용하여 기초생활제품 및 친환경 바이오복합재료 개발 연구, 또한, 조기 상용화를 위한 Demo(pilot) 플랜트 공정 구축을 위한 연구를 수행하고 있다. 3차년도 연구에서는 2단계 사업의 기술통합(2013년~2016년, 4년)을 위해 집중과 선택으로 각 단위기술들을 연계하며

기술을 확립할 예정이다.



[그림 5-3-2] 해조류 바이오매스 활용을 위한 기술통합공정도

제 6 장

참 고 문 헌

제 6 장 참고문헌

2장 참고문헌

[1] 유정권, 미역 인공종묘 배양 및 양식 기초시험 중간보고. 국립수산진흥원발행. 보고서, 13pp. (1964).

[2] Y.K. Chung, D.Y. Chung, *Studies of the artificial seedling production and growth of Undaria pinnatifida (HAR.) SUR. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*. 1, 140-152 (1967).

[3] J.W. Chang, D.Y. Chung, K.U. Bae, M.N. Yun. *Studies on the culture of Laminaria (3) Comparison on the growth of cultured Laminaria japonica Aresch in Mipo Bay, Ulsan City. Bull. Nat ' l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*. 11, 37-57 (1973).

[4] K.K. Baik, C.K. Pyen, Study on growth of *Laminaria japonica Arestch. in the coastal area of Kang Won Do. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 11, 79-92 (1973).

[5] K.K. Baik, *Studies on the seed culture of Laminaria (I)A process of development and the effect of attachment. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*. 17, 53-65 (1977).

[6] K.W. Nam, C.S. Lee, S. D. Lee, J. W. Chang, Y.C. Kim. *Ecological studies on Laminaria religiosa Miyabe of the coast in Kangwon Province of Korea. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea*. 36, 89-103 (1985).

[7] J.W. Chang, Y.S. Son, *Studies on the Morphological Characteristics of Laminaria japonica Areschoug and Laminatia religiosa Miyabe in the coast of Kangwon-Do of Korea. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 48, 165-178 (1993).

[8] Y.D, Kim, H.I. Song, J.P. Hong, C.Y. Jeon, S.K. Kim, *Growth and maturation of the brown seaweed Costaria costata transplanted for the wildstock enhancement. J. Life. Sci.*, 16, 1044-1051 (2006).

[9] 김동삼, 홍정표, 김영대, 공용근, 한규삼, 김형근, 곰피(*Eckolonia stolonifera*)를 이용한 해중림 조성. 한국조류학회 학술발표대회 및 국제심포지엄 요약집. p.88 (2008).

[10] E.K. Hwang, J.M. Baek, C.S. Park, *The mass cultivation of Eckolonia stolonifera Okamura as a summer feed for the abalone industry in Korea. J. Appl. Phycol*. 21, 585-590 (2009).

[11] M.Y. Wi, E.K. Hwang, S.C. Kim, M.S. Hwang, J.M. Baek, et al., *Regeneration and*

maturation induction for the free-living gametophytes of Eckolonia cava Kjellman (Laminariales, Phaeophyta). J. Kor. Fish. Soc. 41, 381-388 (2008).

[12] 황은경, 공용근, 박찬선, 갈조류 감태(*Eckolonia cava* Kjellman)의 대량양식: SWOT분석. 한국조류학회 학술발표대회 및 국제심포지엄 요약집. p.113 (2009).

[13] J.W. Chang, *Foundmental study on the early development of Sargassum. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea.* 18, 141-149 (1977).

[14] 유병동, 신현수, 신종암, 완도지역의 모자반(*Sargassum fulvellum*)실내배양과 가이식 실험. 한국조류학회 학술발표대회 및 국제심포지엄 요약집. p.91 (2008).

[15] 전유진, 해조 기능성 물질 산업화 촉진 방안(제주산 감태의 산업화를 중심으로). 제24회 한국조류학회 학술발표대회 및 해조류 산업 선진화포럼 요약집. p. 240-263 (2010).

[16] 한국수산회, 자율관리어업. 28, 1-4 (2010).

[17] 金南吉. 韓國における海藻栽培の現象と將來. 海藻資源, 22, 22-34 (2010).

[18] 桐原慎二, 谷生重晴, 能登谷正浩, 青森県沿岸における海藻バイオガス発電の経済性の検討. 日本応用藻類学会第10回大会　要旨集. p.17. (2011).

[19] M.E. Edding, F.B. Tala, *Development of techniques for the cultivation of Lessonia trabeculata Villouta et Santelices (Phaeophyceae: Laminariales) in Chile. Aqua. Res.*, 34, 507-515 (2003).

[20] http://www.fao.org

[21] Chynoweth, D.P. *Review of Biomethane from Marine Biomass.* Gainsville :Department of Agricultural and Biological Engineering, University of Florida, (2002)

[22] Buck, B.H. and Buchholz, C.M., The offshore-ring: a new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae. J. Appl. Phycol. 16, 355-368 (2004).

[23] Shinya Yokoyama, Katsunari Jonouchi and Kenji Imou, 2007, Energy production from marine biomass: fuel cell power generation driven by methane produced from seaweed, World Academy of Science, Engineering and Technology 28, pp. 320-323.

[24] E.V. Kalinina, N.N. Chernov, A.N. Saprin, Y.N. Kotova, Y.A. Andreev, V.S. Solomka, N.P. Scherbak, Biochemistry (Mosc) 71 (2006) 1200-1206.

[25] L.M. Sanders, C.E. Henderson, M.Y. Hong, R. Barhoumi, R.C. Burghardt, N. Wang, C.M. Spinka, R.J. Carroll, N.D. Turner, R.S. Chapkin, J.R. Lupton, J Nutr 134 (2004) 3233-3238.

[26] F. Vanderbist, P. Maes, J. Neve, Arzneimittelforschung 46 (1996) 783-788.
[27] D.Y. Rhyu, K.S. Kang, M. Sekiya, T. Yokozawa, Am J Chin Med 35 (2007) 127-137.
[28] S.T. Mayne, J Nutr 133 Suppl 3 (2003) 933S-940S.
[29] V. Paskova, O. Adamovsky, J. Pikula, B. Skocovska, H. Band'ouchova, J. Horakova, P. Babica, B. Marsalek, K. Hilscherova, Sci Total Environ 398 (2008) 34-47.
[30] M. Citelli, F.A. Lara, I. da Silva Vaz, Jr., P.L. Oliveira, Mol Biochem Parasitol 151 (2007) 81-88.
[31] H. Fiander, H. Schneider, Cancer Lett 156 (2000) 117-124.
[32] D. Vauzour, M. Buonfiglio, G. Corona, J. Chirafisi, K. Vafeiadou, C. Angeloni, S. Hrelia, P. Hrelia, J.P. Spencer, Mol Nutr Food Res 54 (2010) 532-542.
[33] M. McMahon, K. Itoh, M. Yamamoto, S.A. Chanas, C.J. Henderson, L.I. McLellan, C.R. Wolf, C. Cavin, J.D. Hayes, Cancer Res 61 (2001) 3299-3307.
[34] C. Mitchell, A.R. Joyce, J.T. Piper, R.J. McKallip, M.W. Fariss, Toxicol Lett 195 (2010) 23-30.
[35] W.S. Choi, D.S. Eom, B.S. Han, W.K. Kim, B.H. Han, E.J. Choi, T.H. Oh, G.J. Markelonis, J.W. Cho, Y.J. Oh, J Biol Chem 279 (2004) 20451-20460.
[36] Y. Zhou, Q. Wang, B. Mark Evers, D.H. Chung, Biochem Biophys Res Commun 350 (2006) 860-865.
[37] S. Dhingra, A.K. Sharma, D.K. Singla, P.K. Singal, Am J Physiol Heart Circ Physiol 293 (2007) H3524-3531.
[38] S.K. Mantena, S.K. Katiyar, Free Radic Biol Med 40 (2006) 1603-1614.
[39] S. Kurata, J Biol Chem 275 (2000) 23413-23416.
[40] M. Eguchi, K. Monden, N. Miwa, J Cell Biochem 90 (2003) 219-226.
[41] K.G. Mendelson, L.R. Contois, S.G. Tevosian, R.J. Davis, K.E. Paulson, Proc Natl Acad Sci U S A 93 (1996) 12908-12913.
[42] I. Qadri, M. Iwahashi, J.M. Capasso, M.W. Hopken, S. Flores, J. Schaack, F.R. Simon, Biochem J 378 (2004) 919-928.
[43] C. Maziere, V. Savitsky, A. Galmiche, C. Gomila, Z. Massy, J.C. Maziere, Biochim Biophys Acta 1802 (2010) 1013-1019.
[44] N. Kumashiro, Y. Tamura, T. Uchida, T. Ogihara, Y. Fujitani, T. Hirose, H. Mochizuki, R. Kawamori, H. Watada, Diabetes 57 (2008) 2083-2091.
[45] Y. Lu, J. Zhou, C. Xu, H. Lin, J. Xiao, Z. Wang, B. Yang, Cell Physiol Biochem 21 (2008) 305-314.

[46] Z. Faghiri, N.G. Bazan, Exp Eye Res 90 (2010) 718-725.

[47] Y.D. Jung, F. Fan, D.J. McConkey, M.E. Jean, W. Liu, N. Reinmuth, O. Stoeltzing, S.A. Ahmad, A.A. Parikh, N. Mukaida, L.M. Ellis, Cytokine 18 (2002) 206-213.

[48] S. Bamba, A. Andoh, H. Yasui, J. Makino, S. Kim, Y. Fujiyama, Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol 285 (2003) G529-538.

[49] T.T. Chowdhury, D.M. Salter, D.L. Bader, D.A. Lee, Inflamm Res 57 (2008) 306-313.

[50] A.M. Abushamaa, T.A. Sporn, R.J. Folz, Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol 283 (2002) L336-345.

[51] N. Khansari, Y. Shakiba, M. Mahmoudi, Recent Pat Inflamm Allergy Drug Discov 3 (2009) 73-80.

[52] J.Y. Yeon, Y.J. Suh, S.W. Kim, H.W. Baik, C.J. Sung, H.S. Kim, M.K. Sung, Nutrition (2011).

[53] D. Tardieu, J.P. Jaeg, A. Deloly, D.E. Corpet, J. Cadet, C.R. Petit, Carcinogenesis 21 (2000) 973-976.

[54] N. Turull, J. Queralt, Inflammation 24 (2000) 533-545.

[55] H.J. Yang, H. Youn, K.M. Seong, Y.J. Yun, W. Kim, Y.H. Kim, J.Y. Lee, C.S. Kim, Y.W. Jin, B. Youn, Biochem Pharmacol (2011).

[56] G.S. Geis, J Rheumatol Suppl 56 (1999) 31-36.

[57] J.A. Tibble, G. Sigthorsson, R. Foster, I. Bjarnason, Scand J Gastroenterol 35 (2000) 802-807.

[58] C. Martin-Garcia, M. Hinojosa, P. Berges, E. Camacho, R. Garcia-Rodriguez, T. Alfaya, J Investig Allergol Clin Immunol 13 (2003) 20-25.

[59] J.D. Greenberg, M.C. Fisher, J. Kremer, H. Chang, E.D. Rosenstein, M. Kishimoto, S. Lee, Y. Yazici, A. Kavanaugh, S.B. Abramson, Clin Exp Rheumatol 27 (2009) 395-401.

[60] D. Layton, P.C. Souverein, E.R. Heerdink, S.A. Shakir, A.C. Egberts, Drug Saf 31 (2008) 143-158.

[61] S.M. Jachak, Curr Med Chem 13 (2006) 659-678.

[62] E. Navarro-Peran, J. Cabezas-Herrera, L. Sanchez-Del-Campo, F. Garcia-Canovas, J.N. Rodriguez-Lopez, Inflamm Res 57 (2008) 472-478.

[63] C. Kurbitz, D. Heise, T. Redmer, F. Goumas, A. Arlt, J. Lemke, G. Rimbach, H. Kalthoff, A. Trauzold, Cancer Sci 102 (2011) 728-734.

[64] K.M. Kim, H.O. Pae, M. Zhung, H.Y. Ha, Y.A. Ha, K.Y. Chai, Y.K. Cheong, J.M.

Kim, H.T. Chung, Biomed Pharmacother 62 (2008) 630-636.
[65] S. Wessler, P. Muenzner, T.F. Meyer, M. Naumann, Biol Chem 386 (2005) 481-490.
[66] D. Chen, M. Nie, M.W. Fan, Z. Bian, Pharmacology 82 (2008) 264-269.
[67] S.K. Manna, A. Mukhopadhyay, B.B. Aggarwal, J Immunol 164 (2000) 6509-6519.
[68] F.C. Liu, L.F. Hung, W.L. Wu, D.M. Chang, C.Y. Huang, J.H. Lai, L.J. Ho, Arthritis Res Ther 12 (2010) R167.
[69] F. Shen, S.J. Chen, X.J. Dong, H. Zhong, Y.T. Li, G.F. Cheng, J Asian Nat Prod Res 5 (2003) 151-157.
[70] B.H. Kim, E.Y. Chung, J.C. Ryu, S.H. Jung, K.R. Min, Y. Kim, Arch Pharm Res 26 (2003) 306-311.
[71] T.M. Chiu, C.C. Huang, T.J. Lin, J.Y. Fang, N.L. Wu, C.F. Hung, J Ethnopharmacol 126 (2009) 108-113.
[72] J.S. Park, M.S. Woo, D.H. Kim, J.W. Hyun, W.K. Kim, J.C. Lee, H.S. Kim, J Pharmacol Exp Ther 320 (2007) 1237-1245.
[73] A.E. Valsecchi, S. Franchi, A.E. Panerai, A. Rossi, P. Sacerdote, M. Colleoni, Eur J Pharmacol 650 (2011) 694-702.
[74] T. Sakai, S. Furoku, M. Nakamoto, E. Shuto, T. Hosaka, Y. Nishioka, S. Sone, Biosci Biotechnol Biochem 75 (2011) 593-595.
[75] K.T. Lee, I.C. Sohn, Y.K. Kim, J.H. Choi, J.W. Choi, H.J. Park, Y. Itoh, K. Miyamoto, Biol Pharm Bull 24 (2001) 1117-1121.
[76] C.A. Colton, O.N. Chernyshev, Neurochem Int 29 (1996) 43-53.
[77] S.T. Dheen, C. Kaur, E.A. Ling, Curr Med Chem 14 (2007) 1189-1197.
[78] L. Meda, M.A. Cassatella, G.I. Szendrei, L. Otvos, Jr., P. Baron, M. Villalba, D. Ferrari, F. Rossi, Nature 374 (1995) 647-650.
[79] S.W. Barger, A.D. Harmon, Nature 388 (1997) 878-881.
[80] B.J. Ding, W.W. Ma, L.L. He, X. Zhou, L.H. Yuan, H.L. Yu, J.F. Feng, R. Xiao, Int J Dev Neurosci 29 (2011) 537-542.
[81] D.J. Jenkins, C.W. Kendall, P.W. Connelly, C.J. Jackson, T. Parker, D. Faulkner, E. Vidgen, Metabolism 51 (2002) 919-924.
[82] T. Ikezoe, Y. Yang, K. Bandobashi, T. Saito, S. Takemoto, H. Machida, K. Togitani, H.P. Koeffler, H. Taguchi, Mol Cancer Ther 4 (2005) 578-586.
[83] Y. Lu, C. Sun, Y. Pan, J Sep Sci 29 (2006) 314-318.
[84] Y. Xu, Y. Xue, Y. Wang, D. Feng, S. Lin, L. Xu, Int Immunopharmacol 9 (2009)

360-365.
[85] X. Tao, P.E. Lipsky, Rheum Dis Clin North Am 26 (2000) 29-50, viii.
[86] X. Tao, J. Younger, F.Z. Fan, B. Wang, P.E. Lipsky, Arthritis Rheum 46 (2002) 1735-1743.
[87] X.D. Pan, X.C. Chen, Yao Xue Xue Bao 43 (2008) 1179-1185.
[88] E.C. Kim, J.K. Min, T.Y. Kim, S.J. Lee, H.O. Yang, S. Han, Y.M. Kim, Y.G. Kwon, Biochem Biophys Res Commun 335 (2005) 300-308.
[89] M.H. Pan, M.C. Hsieh, P.C. Hsu, S.Y. Ho, C.S. Lai, H. Wu, S. Sang, C.T. Ho, Mol Nutr Food Res 52 (2008) 1467-1477.
[90] M.H. Pan, M.C. Hsieh, J.M. Kuo, C.S. Lai, H. Wu, S. Sang, C.T. Ho, Mol Nutr Food Res 52 (2008) 527-537.
[91] T. Hirano, J. Arimitsu, S. Higa, T. Naka, A. Ogata, Y. Shima, M. Fujimoto, T. Yamadori, T. Ohkawara, Y. Kuwabara, M. Kawai, I. Kawase, T. Tanaka, Int Arch Allergy Immunol 140 (2006) 150-156.
[92] M. Kawai, T. Hirano, S. Higa, J. Arimitsu, M. Maruta, Y. Kuwahara, T. Ohkawara, K. Hagihara, T. Yamadori, Y. Shima, A. Ogata, I. Kawase, T. Tanaka, Allergol Int 56 (2007) 113-123.
[93] K. Rezai-Zadeh, J. Ehrhart, Y. Bai, P.R. Sanberg, P. Bickford, J. Tan, R.D. Shytle, J Neuroinflammation 5 (2008) 41.
[94] H. Harizi, F. Chaabane, K. Ghedira, L. Chekir-Ghedira, Cell Immunol 267 (2011) 94-101.
[95] G.A. Bonaterra, E.U. Heinrich, O. Kelber, D. Weiser, J. Metz, R. Kinscherf, Phytomedicine 17 (2010) 1106-1113.
[96] W. Yi, H.Y. Wetzstein, J Sci Food Agric 90 (2010) 1063-1070.
[97] N.H. Nam, Mini Rev Med Chem 6 (2006) 945-951.
[98] K. Stalinska, A. Guzdek, M. Rokicki, A. Koj, J Physiol Pharmacol 56 Suppl 1 (2005) 157-169.
[99] Y. Li, S.H. Lee, Q.T. Le, M.M. Kim, S.K. Kim, J Agric Food Chem 56 (2008) 12073-12080.
[100] Y. Zou, Z.J. Qian, Y. Li, M.M. Kim, S.H. Lee, S.K. Kim, J Agric Food Chem 56 (2008) 7001-7009.
[101] M.M. Kim, Q.V. Ta, E. Mendis, N. Rajapakse, W.K. Jung, H.G. Byun, Y.J. Jeon, S.K. Kim, Life Sci 79 (2006) 1436-1443.

[102] Y. Athukorala, K.N. Kim, Y.J. Jeon, Food Chem Toxicol 44 (2006) 1065-1074.
[103] M.J. Joe, S.N. Kim, H.Y. Choi, W.S. Shin, G.M. Park, D.W. Kang, Y.K. Kim, Biol Pharm Bull 29 (2006) 1735-1739.
[104] Y.C. Kim, R.B. An, N.Y. Yoon, T.J. Nam, J.S. Choi, Arch Pharm Res 28 (2005) 1376-1380.
[105] K.A. Kang, R. Zhang, K.H. Lee, S. Chae, B.J. Kim, Y.S. Kwak, J.W. Park, N.H. Lee, J.W. Hyun, J Radiat Res (Tokyo) 47 (2006) 61-68.
[106] W.K. Jung, Y.W. Ahn, S.H. Lee, Y.H. Choi, S.K. Kim, S.S. Yea, I. Choi, S.G. Park, S.K. Seo, S.W. Lee, I.W. Choi, Food Chem Toxicol 47 (2009) 410-417.

3장 참고문헌

[1] Hasselmann, K. et al. (1973). Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Deutsche Hydrografische Zeitschrift Supp., 12(A8).
[2] 케이슨 내장형 파력발전 시스템(해양조사 및 설계파랑 추정 부문), (주) KT 서브마린, (2008).
[3] 기상청 (1959~2004). 기상연보.
[4] 전해역 심해설계파 추정보고서 II, 한국해양연구원 (2005).
[5] 장계남, 해조류·갑각류양식, 삼광출판사, 22-62 (2002).
[6] 해양수산부, 해양관측 및 예보시스템, 45-62 (2004).
[7] 해양수산부, 원격탐사기술을 활용한 동해 어장변동 및 예측에 관한 연구, 104 (2004).
[8] 이문옥, 해양에너지 공학, 전남대학교 출판부, 143-161 (2008).

4장 참고문헌

[1] E.V. Kalinina, N.N. Chernov, A.N. Saprin, Y.N. Kotova, Y.A. Andreev, V.S. Solomka, N.P. Scherbak, Biochemistry (Mosc) 71 (2006) 1200-1206.
[2] L.M. Sanders, C.E. Henderson, M.Y. Hong, R. Barhoumi, R.C. Burghardt, N. Wang, C.M. Spinka, R.J. Carroll, N.D. Turner, R.S. Chapkin, J.R. Lupton, J Nutr 134 (2004) 3233-3238.
[3] F. Vanderbist, P. Maes, J. Neve, Arzneimittelforschung 46 (1996) 783-788.
[4] D.Y. Rhyu, K.S. Kang, M. Sekiya, T. Yokozawa, Am J Chin Med 35 (2007) 127-137.
[5] J.R. Vane, Y.S. Bakhle, R.M. Botting, Annu Rev Pharmacol Toxicol 38 (1998) 97-120.

[6] M. Murakami, Y. Nakatani, T. Tanioka, I. Kudo, Prostaglandins Other Lipid Mediat 68-69 (2002) 383-399.
[7] J. Claria, Curr Pharm Des 9 (2003) 2177-2190.
[8] C. Chen, Y.H. Chen, W.W. Lin, Immunology 97 (1999) 124-129.
[9] A. von Knethen, D. Callsen, B. Brune, Mol Biol Cell 10 (1999) 361-372.
[10] J. Shan, J. Fu, Z. Zhao, X. Kong, H. Huang, L. Luo, Z. Yin, Int Immunopharmacol 9 (2009) 1042-1048.
[11] F. Chen, M. Ding, Y. Lu, S.S. Leonard, V. Vallyathan, V. Castranova, X. Shi, J Environ Pathol Toxicol Oncol 19 (2000) 231-238.
[12] D. Krappmann, E. Wegener, Y. Sunami, M. Esen, A. Thiel, B. Mordmuller, C. Scheidereit, Mol Cell Biol 24 (2004) 6488-6500.
[13] J.M. Kyriakis, Gene Expr 7 (1999) 217-231.
[14] M. Guha, N. Mackman, Cell Signal 13 (2001) 85-94.
[15] E. Herlaar, Z. Brown, Mol Med Today 5 (1999) 439-447.
[16] A.B. Granado-Serrano, M.A. Martin, G. Haegeman, L. Goya, L. Bravo, S. Ramos, Br J Nutr 103 (2010) 168-179.
[17] X. Yang, Y. Chen, D. Gabuzda, J Biol Chem 274 (1999) 27981-27988.
[18] N.A. Ekborg, J.M. Gonzalez, M.B. Howard, L.E. Taylor, S.W. Hutcheson et al., Int. *J. Syst. Evol. Microbiol.*, **55**, 1545-1549 (2005)
[19] Z.Q. Zhang, G.L. Yu, H.S. Guan, X. Zhao, Y.G. Du, X.L. Jiang, *Carbohydr. Res.*, **339**, 1475-1481 (2004)

[20] D.I. Sanchez-Machado, J. Lopez-Cervantes, J, Lopez-Hernandez, P. Paseiro-Losada, J. Simal-Lozano, *Biomed. Chromatogr.,* **18**, 90-97 (2004).
[21] J. Preiss, G. Ashwell, *J. Biol. Chem.* **237**, 309-316 (1962).
[22] S.H. Yoon, T.S. Moon, P. Iranpour, A.M. Lanza, K.J. Prather, *J. Bacteriol.*, **191**, 1565-1573 (2009).
[23] http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/
[24] Wong TY, Preston LA, Schiller NL. *Annu Rev Microbiol,* 54,289-340 (2000)
[25] Voget S, Steele HL, Streit WR. *J Biotechnol,* 126,26-36 (2006)

부 록

A. 추진경과 일정표

B. 심포지엄 개최 결과 요약

C. 최종보고회 결과 요약

D. 연구성과물

E. 언론 홍보

부록 A 추진경과 일정표

□ 연구관리 업무 및 일정

월	연구관리 업무	대외 업무	기타 사항
10	○ 운영위원회 회의	○ 해조류 원료 확보 관련 협의 (완도군, 해조류바이오연구센터) ○ 내외해 다시마 비교양식	○ 원료 확보방안 토의 ○ 대량생산업무 추가
11	○ 홍보전시회 개최(2건) - 한국생물공학회(7-9일) - 한국화학공학회(20-22일)	○ 국내 유관 연구단지 방문/미팅	○ 인적네트워크 토의 ○ 전시회 부스 설치
12	○ 1차 워크샵 개최 (16일-17일) - 장소: 제주도 KAL 호텔 - 자문위원단 패널토론	○ 폐자원 및 바이오매스 에너지 대책 실행계획, 추진실적 보고 (2일) ○ 보도자료 작성 및 배부 (15일, 21일)	○ 연구진행 점검
1	○ 세부과제팀별 점검회의	○ 수산 폐기물 현황조사(29일)	
2	○ 세부과제팀별 점검회의	○ 국내 유관 연구단지 방문/미팅	○ 인적네트워크 토의
3	○ 추진실적 보고(2일)		
4	○ 추진실적 보고(13일) ○ 중간보고회 개최(15일-16일) - 장소: 통영 경상대학교 - 자문위원단 패널토론 ○ 자문위원단 회의(22일)	○ 경과보고 및 부처관계자 미팅(8일) ○ 보도자료 작성 및 배부 (16일)	○ 연구진행 점검 ○ 향후계획 검토
5	○ 운영위원회 회의(19일) ○ 자문위원단 회의(24일)	○ 언론홍보 - KBS 9시 뉴스 촬영 ○ 한국청정기술학회지 홍보	
6	○ 자문위원단 회의 ○ 운영위원회 회의(11일) ○ 결과종합회의 ○ 실적정리(논문, 특허 등)	○ 국가위 R&D 사업설명회 ○ 해외 연구기관 방문 및 회의 - 미국 BAL 연구소 및 Algen Sustainables 회사 - 기술동향 파악 및 MOU 협의	○ 해조류 바이오매의 활용방안 토의
7	○ 국제 심포지엄 개최 (3일-5일) - 장소: 완도군 장보고관 - 해외연사초청(미국, 일본) - 자문위원단 연석회의 (패널토론) ○ 최종보고회 ○ 결과보고서 발간	○ 보도자료 작성 및 배부(6일) ○ 해외 연구기관 방문 및 회의 - 인도네시아 발리 및 자카르타 ○ 지자체와 MOU 체결(완도군) ○ 최종 평가, 향후 계획 협의 ○ 부처관계자 미팅	○ 연구진행 점검 ○ 생산지 방문(완도) ○ 향후방안 토의

부록 B 심포지엄 개최 결과 요약

1. 국제 심포지엄 개요

- 일자 : 2011년 7월 3~5일(일~화)
- 심포지엄 명 : 해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄 (International Symposium on Seaweed Biomass Production & Bioenergy)
- 참석자 수 : 회사 22명, 대학교 75명, 연구소 29명
- 주최 : 농림수산식품부
- 주관 : 부경대학교 청정생산기술연구소 , 완도군

2. 발표자 및 발표내용

가. 신명교(바이올시스템스, 연구원) : 홍조류로부터 바이오알콜 생산
나. Yuki Kashiyama(BAL Chile 바이오 설계연구소, CEO, 미국) : 거대조류로부터 재생가능한 연료와 화합물 생성을 위한 생물합성
다. James Coke(Algen Sustainables, CEO, 미국) : 연안 자생 바이오매스의 활용(매콩델타에서의 기회와 도전)
라. Kazuo Miyashita(홋카이도 대학, 교수) : 건강 기능소재로서의 갈조류 지방
마. 우희철(부경대학교, 교수) : 한국의 해조류 바이오매스 기술현황과 연구개발 계획
바. 김남길(경상대학교 교수) : 한국의 다시마 대량생산 기술 개발
사. 김경헌(고려대학교 교수) : 해조류의 생물학적 전환공정 개발
아. 김형락(부경대학교 교수) : 기능성 식품원으로서 해조류 이용
자. 서동진(KIST 청정에너지센터, 책임연구원) : 급속 열분해 및 혐기성 소화를 이용한 해조류의 바이오오일 생산기술 개발

3. 패널토론

가. 토론자 : 정해봉(에코프론티어), 박종문(포항공과대학교), 김화용(서울대학교), 이진석(한국에너지기술연구원), 배정환(전남대학교), 김진석(한국화학연구원), 김형락(부경대학교), 우희철(부경대학교), 류청로(부경대학교), 홍정표(수산자원사업단)

나. 토론 내용 요약

(1) 바이오에너지 생산공장을 항시 가동하기 위한 원료의 대량공급과 지속적인 해조류 바이오매스 공급을 위한 연중 생산 가능한 해조류 바이오매스 개발
(2) 정부의 RPS (Renewable Portfolio Standard) 제도 실시에 따라 신재생에너지원으로 해조류 바이오매스를 활용하기 위한 정책적인 지원이 필요
(3) 석유자원 고갈에 따른 바이오에너지 개발뿐만 아니라 바이오자원으로부터 석유화학제품 원료를 대체하기 위한 연구개발을 위한 정책적인 지원이 필요
(4) 해조류 양식산업이 왕성한 일본, 중국과 공동으로 해조류양식으로 인한 이산화탄소 감축효과를 인증받기 위한 국제적인 노력이 필요
(5) 해조류 바이오매스로부터 바이오에너지 생산공정비용을 절감하기 위하여 고부가가치 제품의 생산과 공정의 단순화에 대한 심층적인 기술개발이 필요
(6) 해조류바이오매스의 대량생산과 수송의 자동화와 자연재해에 대비한 친환경 대량생산 시설구축이 필요

이번 심포지엄에서 패널토론을 통해, 2012년부터 신재생에너지 의무할당제(RPS) 시행과 2015년부터 탄소배출권(CER) 의무이행 제도에 따라 신재생에너지 확보가 중요함을 강조하였으며, 이에 육상 바이오매스로부터 액체연료 생산은 한계가 있어, 비식용 해조류를 이용한 액체연료 생산이 유리할 것이라는 의견을 제시하였다. 또한 국가 경쟁력 확보와 바이오에너지 분야 선도를 위해 정부의 지원이 중요함을 강조하였다.

4. 프로그램

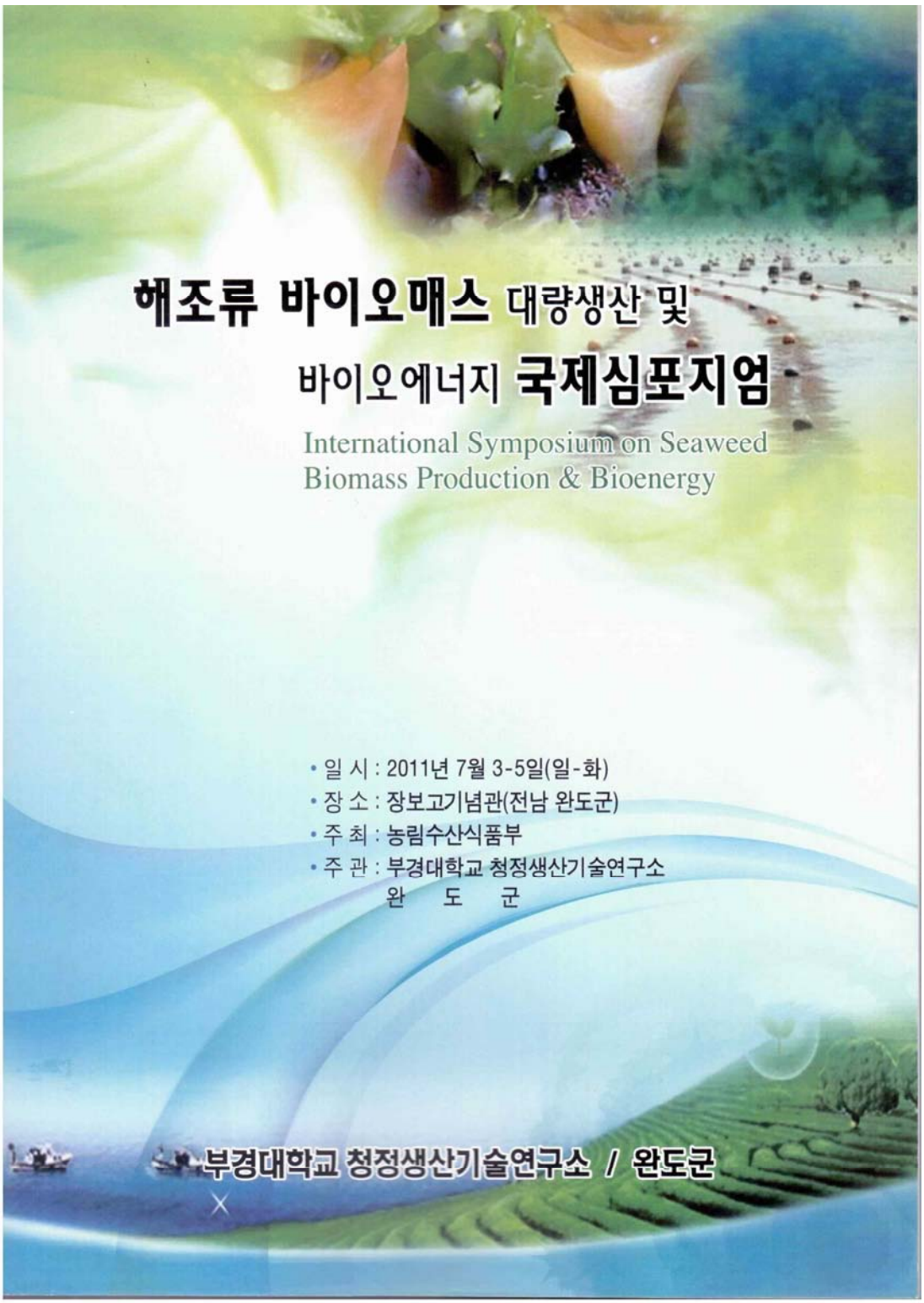
International Symposium on Seaweed Biomass Production & Bioenergy
July 3-5, 2011 / ChangPoGo Memorial Hall, Wando, Korea

- Supported by : Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries
- Hosted by : The Institute of Cleaner Production Technology, Pukyong National University, Wando County

Program

Date	Time	Subject	Lecturer
7. 3	18:30~20:30	• Welcome Reception	
7. 4	08:30~09:00	• Registration	
	09:00~09:10	• Opening Remark	
	09:10~09:30	• Congratulatory Remark	
	Session 1	Chairman	Dr. Kyeongkeun Oh (Prof. Dankook University)
	09:30-10:20	• Production of Bioethanol from Macro Red Algae	Dr. Myung Kyo Shin (Vice-President, Biolsystems)
	10:20~11:10	• Synthetic Biology for Renewable Fuels and Chemical Production from Macroalgae	Mr. Yuki Kashiyama (Co-founder & CEO of BAL Chile, Bio Architecture Lab, USA)
	11:10~11:20	Coffee Break	
	11:20~12:10	• On-shore Aquatic Biomass: Opportunities and Challenges in the Mekong Delta	Mr. James Coke (CEO, Algen Sustainables, USA)
	12:10~13:30	Lunch	
	Session 2	Chairman	Dr. Heon-Tae Kim (Prof. Pukyong National University)
	13:30~14:20	• Brown Seaweed Lipids as Nutraceutical Ingredients	Dr. Kazuo Miyashita (Prof. Hokkaido University, Japan)
	14:20~14:40	• Current Status and R&D Roadmap of Seaweed Biomass Technology in Korea	Dr. Hee Chul Woo (Prof. Pukyong National University)
	14:40~15:00	• Introduction to the Mass Culture System of Kelp in Korea	Dr. Nam-Gil Kim (Prof. Gyeongsang National University)
	15:00~15:10	Coffee Break	
	Session 3	Chairman	Dr. Yong-Cheol Park (Prof. Kookmin University)
	15:10~15:30	• Biological Conversion of Seaweed Biomass into Fuels and Chemicals	Dr. Kyoung Heon Kim (Prof. Korea University)
	15:30~15:50	• Potential Utilization of Sesweed Biomass as Nutraceuticals	Dr. Hyeung-Rak Kim (Prof. Pukyong National University)
	15:50~16:10	• Green Liquid Fuel Production from Seaweed by Fast Pyrolysis and Anaerobic Digestion	Dr. Dong Jin Suh (Researcher, Clean Energy Center, Korea Institute of Science & Technology)
	16:10~17:00	Panel Discussion	Chairman Dr. Hyeung-Rak Kim, (Prof. Pukyong National University)
7. 5	09:00~	Discussion and Seaweed Farm Tour	

5. 국제심포지엄 자료집


해조류 바이오매스 대량생산 및
바이오에너지 국제심포지엄
International Symposium on Seaweed
Biomass Production & Bioenergy
• 일 시 : 2011년 7월 3-5일(일-화)
• 장 소 : 장보고기념관(전남 완도군)
• 주 최 : 농림수산식품부
• 주 관 : 부경대학교 청정생산기술연구소
완 도 군
부경대학교 청정생산기술연구소 / 완도군

부록 C 최종보고회 결과 요약

1. 최종보고회 개요

- 일자 : 2011년 8월 3일(수)
- 발표자 : 연구책임자 우희철 교수
- 참석자 수 : 평가위원 4명, 부처관계자 7명, 연구위원 14명, 외부참석자 5명
- 토론 평가 요약

구분	소속	성명	내용
평가위원	(주)해양생태기술연구소	손민호 박사	- 적은 연구자금에 비해 많은 연구성과를 도출함. - 현재 해조류 바이오매스 연구와 관련하여 각 부처간에 중복성이 있다고 범부처에서는 바라보고 있으며, 향후 2020년까지의 국가 장기 프로젝트로 전환시 타부처 경쟁에서 선점하기 위해 독창적이고, 우수한 성과를 이루어 미리 준비할 필요가 있음.
	충북대	신채호 교수	- 본 과제는 최종목표를 이루기 위해 기획연구에서 이루어진 로드맵에 맞추어 충실히 수행되고 있는 것으로 보임. - 본 과제는 연속적으로 이루어져야 시너지 효과가 나올 것이며, 공백기간이 있다면 연구가 일시적으로 중단되는 문제가 발생해 연구목표 달성에 차질 있을 것임. - 향후 Demo(pilot) plant 구축을 위해 장치비가 많이 들어감으로 많은 연구자금을 투입 및 확보가 필요함.
	한국화학연구원	정순용 박사	- 부족한 연구자금에도 불구하고 많은 연구자들과 함께 전체적으로 우수한 연구성과를 이루어 낸 것 같음. - 현재까지 연구결과는 해조류 바이오매스의 그린에너지화 및 통합활용을 위해 여러 가지 단위기술들을 도출하였고, 기술의 수준도 많이 올라온 것 같음. - 앞으로는 bench scale 및 pilot plant로 가기 위해 많은 연구비가 필요함. 또한 부처관계자와 연구책임자는 도출된 여러 기술들에 대해 선택과 집중으로 투자할 필요가 있음.
	경북대	박중곤 교수	- 본 연구는 해조류 feed stock 확보와 해조류 활용기술이 함께 이루어져야하며, 현재 투자되는 연구자금을 볼 때 (대량생산 약 5억, 통합활용 약 11억) balance가 맞지 않아 장기적으로 연구진행이 불균형해질 우려가 있어 균형적으로 투자와 연구개발이 이루어져야함. - 해조류 바이오매스 VFA 플랫폼은 현재 우수한 연구결과를 도출하고 있으며, 국제적인 기술선점을 위해 집중적으로 투자할 필요가 있다고 판단됨. - 해조류 대량생산과 관련하여 생산량 단위의 기준이 필요할 것 같음. wt. weight 단위를 사용할 때 수분함량 비율에 대한 기준이 필요함. - 해조류 바이오매스의 생산성을 높이기 위해 종개발, 수거시스템 등의 분야외에도 기후변화인자도 고려되야 됨.

구분	내용
부처관계자	- 바이오에너지는 현재 경제성이 없지만, 화석연료 고갈과 함께 연료의 생산비용이 증가하고 있으며, 향후 어느 시점에서 본 연구사업이 새로운 시장을 선점할 것으로 기대함. - 현재 본 부처는 해조류 바이오매스 개발에 대한 법적기반을 갖추고 있으며, 본 부처의 주도로 해조류 바이오매스 개발을 실현할 예정임.
외부참석자	- 해조류는 기후변화 대응 및 온실가스 감축을 위해 바다숲 조성 등 다양한 연구를 수행하고 있음. - 향후 본 사업 역시 크게 기여할 것으로 예상됨.
연구위원	- 해조류는 열대지방보다 온대지방에서 잘 자라며, 우라나라에서 갈조류를 대상으로 바이오매스를 확보하는 것이 유리하다고 봄. - 미세조류는 거대조류보다 대량생산하기에 현제 경제적으로 많은 문제점이 있음. - 또한, 육상바이오매스는 해조류에 비해 경작 및 수거비용이 많이드는 단점이 있음. - 현재 해조류를 대량생산을 위해서 내해는 다양한 양식장으로 포화되어 있어, 외해 대량생산을 구축할 것임.

부록 D 연구성과

1. 해조류 바이오매스의 대량생산

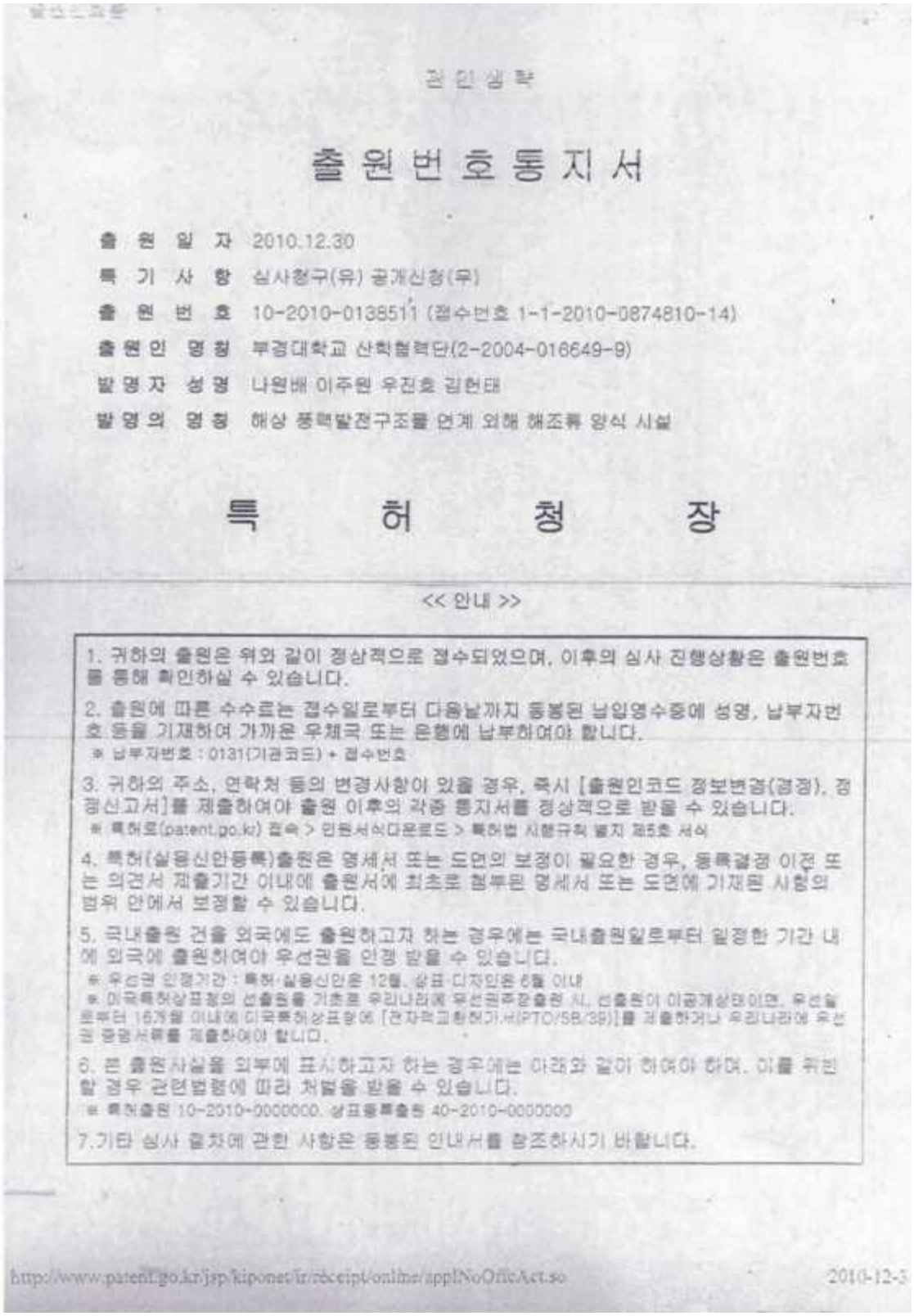
□ 특허출원 실적 : 1건

No	산업재산권명	출원일자	출원번호	출원국가	출원자
확정					
1	해상 풍력발전구조물 연계 외해 해조류 양식시설	2010. 12. 30	10-2010-0138511	한국	김헌태 외 3인

□ 학술발표 실적 : 국외 1건/국내 5건

No	제 목	회의명	발표자	발표일자	국가명
1	기장과 완도해역에서의 다시마 생산성	한국수산과학회	김남길 외 2명	2011. 06	한국
2	외해 해조류대량양식 기술 및 생산관리시스템 구축을 위한 개념 설계 연구	한국해양과학 기술협의회	김헌태, 류청로 외 1명	2011. 06	한국
3	외해 해조류 대량양식시설 적지선정을 위한 기초 연구	해양환경 안전학회	윤한삼, 김헌태 외 1인	2011. 06	한국
4	완도-기장해역의 해조류 생산량과 수질과의 상호관련성 연구	한국마린 엔지니어링학회	윤한삼, 이인철 김헌태 외 1인	2011. 06	한국
5	외해 해조류 양식 환경 모니터링을 위한 시스템 개념설계	한국마린 엔지니어링학회	윤한삼, 이인철 김헌태	2011. 06	한국
6	韓国釜山と莞島金日海域で栽培したコンブの生産性	일본 응용조류학회	김남길 외 2명	2011. 07	일본

□ 특허첨부-(1)



관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2010.12.30
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호 10-2010-0138511 (접수번호 1-1-2010-0874810-14)
출원인 명칭 부경대학교 산학협력단(2-2004-016649-9)
발 명 자 성 명 나원배 이주원 우진호 김헌태
발 명 의 명 칭 해상 풍력발전구조물 연계 외해 해조류 양식 시설

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 국내출원 건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적고충처리서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

http://www.patent.go.kr/jsp/kiponet/ir/receipt/online/applNoOfficAct.so 2010-12-3

2. 해조류 바이오매스의 통합활용

■ 특허출원 실적 : 총 8건(출원중 1건 포함)

순번	산업재산권명	출원 일자	출원번호	출원 국가	출원자
확정					
1	다시마의 추출물을 유효성분으로 함유하는 함염증용 약학조성물	2010.04.21	10-2010-0037042	한국	김형락, 우희철 외 4명
2	곰피와 감태 추출물 유래의 플로로탄닌을 포함하는 화장품 조성물	2010.10.19	10-2010-0101940	한국	최호석, 김형락 우희철, 신태선 외 4명
3	다시마 추출물 또는 이로부터 분리한 폴피린계 화합물을 유효성분으로 함유하는 당뇨성 합병증의 예방 및 치료용 약학 조성물	2011.03.10	10-2011-0021388	한국	최재수, 우희철 김형락 외 1명
4	피부세포에서 멜라닌 생합성 억제 효과를 갖는 곰피 또는 감태 주정 추출물 또는 그로부터 분리된 플로로탄닌류를 함유하는 피부미백용 조성물	2011.04.01	10-2011-0030402	한국	김형락, 신태선 최재수 외 2명
5	신규한 알긴산 분해 효서 및 그 분해방법	2011.04.13	10-2011-0034150	한국	김경헌 외 1명
6	알지네이트 라이아제 활성을 가진 신규 효소 AlyDW	2011.05.17	10-2011-0046207	한국	김두운, 신태선 외 3명
7	피부세포에서 멜라닌 생합성 억제 효과를 갖는 다시마(laminaria japonica) 주정 추출물 및 그로부터 분리된 n-헥산 가용 추출물 또는 디클로로메탄 가용 추출물을 함유하는 피부미백용 조성물	2011.05.25	10-2011-0049714	한국	김형락, 신태선, 우희철 외 1명
예정					
8	알지네이트 라이아제 활성을 가지는 메타지놈 라이브러리	- 11년 유망기술발굴 및 사업화지원사업 해외 권리화 과제선정 (특허청 지원) - 2011년 11월 출원예정 (첨부자료)		해외 (미국)	김두운, 신태선 외 3명

■ 특허첨부-(1)

출원번호통지서

관인생략

출원번호통지서

출원일자	2010.04.21
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호	10-2010-0037042 (접수번호 1-1-2010-0256207-63)
출원인 명칭	부경대학교 산학협력단(2-2004-016649-9)
대리인 성명	이덕록(9-1998-000461-7)
발명자 성명	김형락 김아름 이민섭 이지영 우희철 원현수
발명의 명칭	다시마의 추출물을 유효성분으로 함유하는 항염증용 약학조성물

특 허 청 장

1. 출원번호통지서 출원 이후 심사진행 상황 등을 확인하실 때에는 출원번호가 필요하오니 출원번호통지서는 출원절차가 종료될 때까지 보관하시기 바랍니다.
2.
2-가. 특허 및 실용신안 출원은 심사청구 후 평균 16개월에 1차 심사처리가 이루어지고, 상표 및 디자인은 출원 후 평균 10개월에 1차 심사처리가 이루어집니다.
2-나. 특허 및 실용신안은 특허路 홈페이지(http://www.patent.go.kr)의 "고객지원서비스-민원처리과정 통지 서비스" 코너에서 1차 심사결과통지 예고서비스를 신청하시면, 1차 심사처리 약 1개월 전에 해당 출원 건의 1차 심사결과통지 예정시기를 SMS 또는 E-mail 서비스로 제공 받을 수 있습니다
2-다. 상표 및 디자인은 특허청 홈페이지(공지사항)에 류별 1차 심사결과통지 예정시기를 매월 게시하고 있으며, 특허정보검색서비스 시스템(http://www.kipris.or.kr)을 통해 개별 출원건에 대한 1차 심사결과통지 예정시기를 알려드립니다. 또한, 출원시 1차 심사결과통지 예정시기 알림 서비스를 신청하시면, SMS 또는 E-mail 서비스로 제공해 드립니다.
※ 상기 1차 심사결과통지 예정시기는 사정에 의해 다소 늦거나 빨라 질 수 있습니다.
2-라. 1차 심사결과통지시(심사관이 특허결정의 등본을 송달하기 전 또는 심사관이 최초로 거절이유를 통지한 후 출원인이 그 거절이유를 받기 전 중 빠른 때)

■ 특허첨부-(2)

관인생략

출원번호통지서

출 원 일 자 2010.10.19

특 기 사 항 심사청구(무) 공개신청(무)

출 원 번 호 10-2010-0101940 (접수번호 1-1-2010-0674753-63)

출원인 명칭 충남대학교산학협력단(2-2004-008410-4)

대리인 성명 특허법인 다나(9-2008-100121-8)

발 명 자 성 명 최홍기 최호석 김형락 우희철 신태선 이현우 지한솔 정시인

발 명 의 명 칭 곰피와 감태 추출물 유래의 플로로탄닌을 포함하는 화장품 조성물

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 국내출원 건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특허첨부-(3)

관리 생략

출원번호통지서

출원일자	2011.03.10
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호	10-2011-0021388 (접수번호 1-1-2011-0174571-01)
출원인 명칭	부경대학교 산학협력단(2-2004-016649-9)
대리인 성명	김태선(9-2005-000764-8)
발명자 성명	최재수 우희철 김형락 손유경
발명의 명칭	다시마 추출물 또는 이로부터 분리한 폴피린계 화합물을 유효 성분으로 함유하는 당뇨성 합병증의 예방 및 치료용 약학 조성물

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 국내출원 건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특허첨부-(4)

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2011.04.01
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호	10-2011-0030402 (접수번호 1-1-2011-0241242-45)
출원인 명칭	부경대학교 산학협력단(2-2004-016649-9)
대 리 인 성 명	김일성(9-2005-000417-6)
발 명 자 성 명	김형락 이민섭 신태선 변대석 최재수
발 명 의 명 칭	피부세포에서 멜라닌 생합성 억제 효과를 갖는 곰피 또는 감태 주정 추출물 또는 그로부터 분리된 플로로탄닌류를 함유하는 피부미백용 조성물

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 국내출원 건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

발급일자 : 20110401

1/3

■ 특허첨부-(5)

관인생략

출원번호통지서

출 원 일 자 2011.04.13

특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)

출 원 번 호 10-2011-0034150 (접수번호 1-1-2011-0270337-53)

출원인 명칭 고려대학교 산학협력단(2-2004-017068-0)

대리인 성명 구현서(9-2000-000082-0)

발명자 성명 김경헌 최인걸 김희택

발명의 명칭 신규한 알긴산 분해 효소 및 그 분해방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

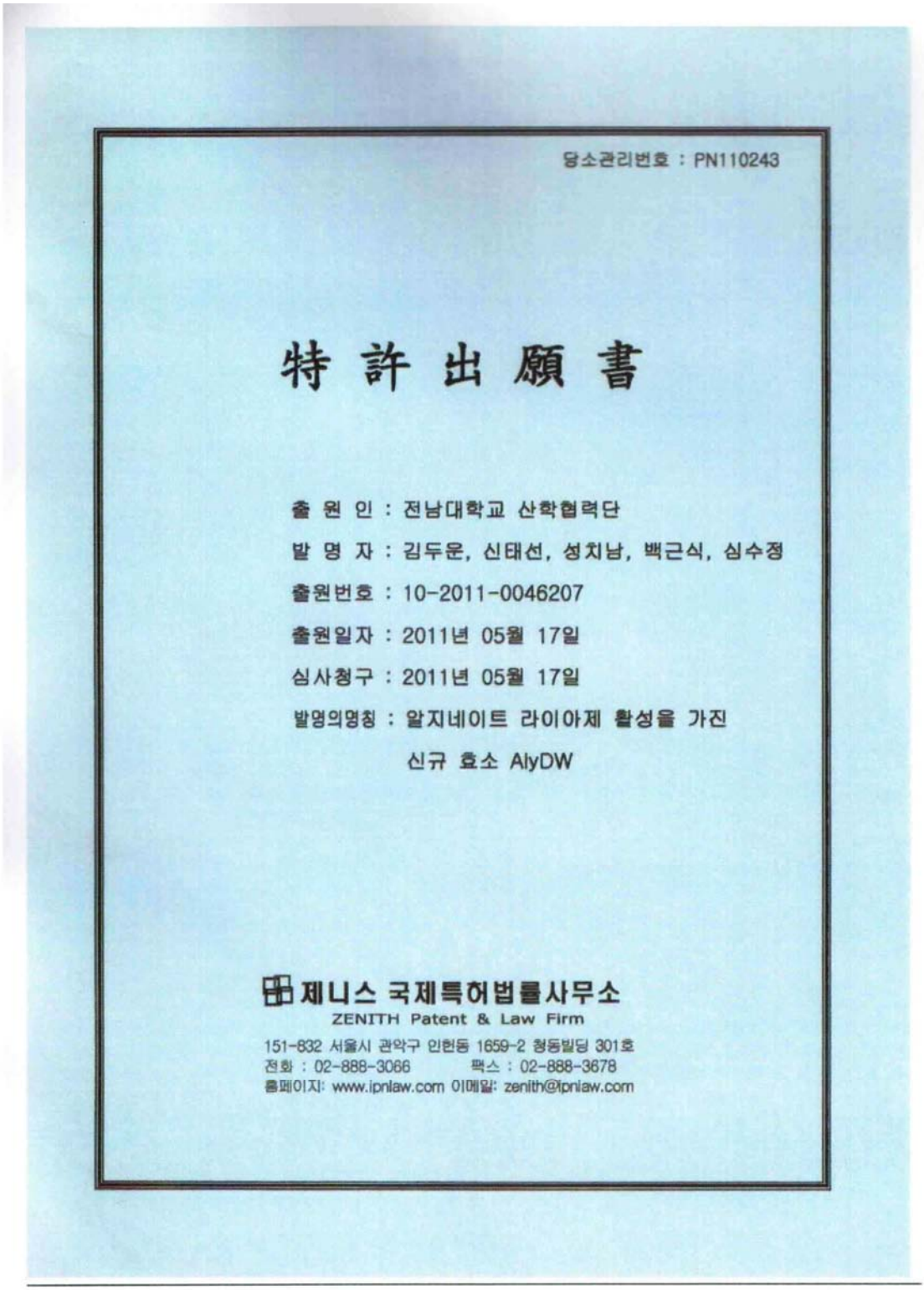
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 국내출원 건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 특허첨부-(6)



당소관리번호 : PN110243

特 許 出 願 書

출 원 인 : 전남대학교 산학협력단

발 명 자 : 김두운, 신태선, 성치남, 백근식, 심수정

출원번호 : 10-2011-0046207

출원일자 : 2011년 05월 17일

심사청구 : 2011년 05월 17일

발명의명칭 : 알지네이트 라이아제 활성을 가진
신규 효소 AlyDW

제니스 국제특허법률사무소
ZENITH Patent & Law Firm
151-832 서울시 관악구 인헌동 1659-2 청동빌딩 301호
전화 : 02-888-3066 팩스 : 02-888-3678
홈페이지: www.ipnlaw.com 이메일: zenith@ipnlaw.com

■ 특허첨부-(7)

관인생략

출원번호통지서

출원일자	2011.05.25
특기사항	심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호	10-2011-0049714 (접수번호 1-1-2011-0392604-77)
출원인 명칭	부경대학교 산학협력단(2-2004-016649-9)
대리인 성명	김일성(9-2005-000417-6)
발명자 성명	김형락 이민섭 신태선 우희철
발명의 명칭	피부세포에서 멜라닌 생합성 억제 효과를 갖는 다시마 (Laminaria japonica) 주정 추출물 또는 그로부터 분리된 n-헥산 가용 추출물 또는 디클로로메탄 가용 추출물을 함유하는 피부미백용 조성물

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 국내출원 건을 외국에도 출원하고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정 받을 수 있습니다.
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12월, 상표·디자인은 6월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

■ 논문게재 실적 : 총 11(예정 5건 포함)

순번	제 목	학술지	발표자	발표 일자	국가명 (SCI여부)
확정					
1	The Extracts of Sargassum fulvellum induce Pro-Apoptosis and Cell Cycle Arrest on MDA-MB-231 Human Breast Carcinoma Cells	Cancer Prevention Research Vol. 15, No. 1, 52-59, 2010	우희철, 김형락, 김군도 외 1명	2010. .04	한국 (SCIE)
2	Characterization of an endo-alginate lyase, Alg7B, cloned from *Saccharophagus degradans* 2-40 for the depolymerization of alginate	Carbohydrate Polymer	김경헌 외 7명	Submitted	영국 (SCI)
3	Chemical composition of *Capsosiphon fulvescens*in different habitats and harvesting periods	Journal of Applied Phycology.	김두운 외 4명	Submitted	캐나다 (SCI)
4	Effects of NADH-preferring xylose reductase expression on ethanol production from xylose in xylose-metabolizing recombinant *Saccharomyces cerevisiae*	Journal of Biotechnology	박용철 외 5명	Submitted	네덜란드 (SCI)
5	Effects of overexpression of acetaldehyde dehydrogenase 6 and acetyl-CoA synthetase 1 on xylitol production in recombinant *Saccharomyces cerevisiae*	New Biotechnology	박용철 외 4명	Submitted	네덜란드 (SCI)
6	Identification and characterization of genomic fragment encoding alginate lyase genes from a metagenomic fosmid library	Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology	신태선, 우희철, 김두운 외 6명	submitted	미국 (SCI)

(계속)

순번	제 목	학술지	발표자	발표 일자	국가명 (SCI여부)
		예정			
1	Dieckol, an isolation from Ecklonia stolonifera, induces apoptosis on human hepatocellular carcinoma Hep3B cells.	Nutrition and Cancer-aninternational Journal	김군도, 김형락 우희철 외 6명	심사중	미국 (SCI)
2	The Anti-Cancer Effects of Laminaria japonica extract on 267B1/K-ras Human Prostate Cancer Cells	Cancer Prevention Research	김군도, 김형락, 우희철 외 2명	심사중	한국 (SCIE)
3	Characterization of a recombinant alginate lyase cloned from *Saccharophagus degradans* for the hydrolysis of brown algae	Carbohydrate Polymers	김경헌 외 3명	심사중	England (SCI)
4	Molecular characterization of Clostridium acetobutylicum hydrogenases	Molecular Microbiology	이지은 외 2명	심사중	미국 (SCI)
5	Butanol fermentation by Clostridium beijerinckii NCIMB 8052 using Macroalgae as substrates	Bioresource Technology	이지은 외 2명	심사중	미국 (SCIE)

■ 논문첨부-(1)

CANCER PREVENTION RESEARCH

□ ORIGINAL ARTICLE □

The Extracts of *Sargassum fulvellum* Induce Pro-Apoptosis and Cell Cycle Arrest on MDA-MB-231 Human Breast Carcinoma Cells

Jin-Soo Yoon[1], Hee-Chul Woo[2], Hyeung-Rak Kim[3] and Gun-Do Kim[1]

[1]Department of Microbiology, College of Natural Sciences, [2]Division of Applied Chemical Engineering, College of Engineering, [3]Division of Food Science and Biotechnology, College of Fishery Sciences, Pukyung National University, Busan 608-737, Korea

The potential anti-cancer effects of n-hexane (HSF) and dichloromethane fractions (DSF) of a brown macro-algae, *Sargassum fulvellum* were evaluated in estrogen receptor-negative MDA-MB-231 human breast cancer cells. The effects of HSF and DSF on pro-apoptosis was assessed by studying the release of cytochrome c and the level of Bcl-xL which related with anti-adhesive effects. Cell cycle controlling proteins which associated with the level of CDK6 and phosphorylated cdc2 caused cell cycle arrest. The exposure of MDA-MB-231 cells to each fraction (HSF and DSF respectively) at concentration of 50 μg/ml for 24 hours resulted in the inhibition of cell growth and shrinking of cell morphology along with decreased expression of Rac and MAP kinases. The results suggested that the anti-cancer effects of two extracts act on pro-apoptosis, cell cycle arrest and the inhibition of cell growth. **(*Cancer Prev Res* 15, 52-59, 2010)**

Key Words: *Sargassum fulvellum*, Brown macro-algae, MDA-MB-231, Apoptosis, Cell cycle

INTRODUCTION

Recent studies have been carried out to find cancer chemo-preventive and/or chemo-therapeutic agents from edible and natural resources such as fruits, vegetables, and terrestrial plants.[1,2] One of the well known natural resources are seaweeds. Seaweeds are well-balanced, harmless, natural sources with a high degree of trace elements, and strongly advised for fast grown children and pregnant women.[3] Edible seaweeds have high nutritional values as sources of vitamins, minerals, and non-caloric dietary fibers and as potential sources of biological active ingredients.[4] Marine organisms also emerged as one of the important sources for dietary supplements and a number of them are potentially active and useful source of medicine. Their metabolites such as flavonoids and other phenolic compounds are widely used in life science research and provide chances for discovery-phase of new drug development.[5~8]

Considerable number of research works explained that, sulphated polysaccharide derived from marine algae has potent antioxidant and anticancer activities.[9] Especially, sulphated polysaccharides from *Fucus vesiculosus*, *Laminaria japonica* and *Ecklonia kurome* were demonstrated to have good anti-oxidant activity.[10] Furthermore, several investigations have been focused on the isolation and function of the polysaccharides derived from different Sargassum species, which revealed multiple biological activities such as anti-oxidant,[11,12] anti-tumor, anti-angiogenic,[13] anti-inflammatory,[14] anti-coagulant,[15] anti-viral[16] and anti-vasculogenic[17] activities.

책임저자 : 김군도, ㊥ 608-737, 부산시 남구 대연3동 599-1
부경대학교 자연과학대학 미생물학과
Tel: 051-629-5618, Fax: 051-629-5619
E-mail: gundokim@pknu.ac.kr
접수일 : 2010년 2월 24일, 1차수정일: 2010년 2월 26일,
2차수정일: 2010년 3월 2일, 게재승인일 : 2010년 3월 5일

Correspondence to : Gun-Do Kim
Department of Microbiology, College of Natural Sciences, Pukyung National University, 599-1, Daeyeon 3-dong, Nam-gu, Busan 608-737, Korea
Tel: +82-51-629-5618, Fax: +82-51-629-5619
E-mail: gundokim@pknu.ac.kr

■ 학술발표 실적 : 국외 2/국내 11

순번	제목	학술지	박표자	발표일자	국내외
1	Characterization of [NiFe]-hydrogenase in Clostridium acetobutylicun ATCC 824	한국미생물 생명공학회	이지은 외 3명	2010. 06	한국
2	Multi-omics approach for the elucidation of degradation and metabolism of plant cell wall and macroalgal polysaccharides by a biomass super-degrader, Saccharophagus degradans.	14th International Biotechnology Symposium and Exhibition.	김경헌	2010. 09	이탈리아
3	Extract of Laminaria japonica induce apoptotic cell death on 267B1/K-ras human prostate cancer cells	한국생명 과학회	김형락, 김군도 외 4명	2010. 10	한국
4	Perturbation of membrane compositions in Clostridium acetobutylicum ATCC 824 for a higher solvent tolerance	한국화학 공학회	이지은 외 2명	2010. 10	한국
5	Butanol fermetnation using macroalgae as substrates	11th Clostridium meeting	이지은 외 2명	2010. 10	미국
6	Metabolomics of Saccharophagus degradans, the super-degrader of marine biomass.	한국미생물 연합회	김경헌	2010. 10	한국
7	Methodology development and implementation of microbial metabolomics	한국생명 과학회	김경헌	2010. 10	한국
8	해조류 유래 비발효성당의 효소전환 기술	해양바이오 에너지 국제포럼	김경헌.	2010. 11	한국
9	Anti-inflammatory activity of lipophilic fraction from *Laminaria japonica* in the LPS-treated RAW 264.7 macrophages	한국수산 과학회	김형락 외 6명	2010. 11	한국

(계속)

순번	제목	학술지	박표자	발표일자	국내외
10	Microbial production of fuels and chemicals from macro algae	한국 생물공학회	박용철	2011. 04	한국
11	Screening of genomic fragement encoding alginate lyase genes using a metagenomic fosmid library constructed from wetland microflora	International meeting of the microbiological society of Korea	김두운 외 8인	2011.05	한국
12	Identification and characterization of genomic fragment encoding alginate lyase genes from a metagenomic fosmid library	한국식품 과학회	김두운, 신태선, 우희철 외 6인	2011.06	한국
13	Chemical composition of *Capsosiphon fulvescens* in different habitats and harvesting periods	4th Congress of the International Society for Applied Phycology	김두운, 신태선 외 2인	2011.06	캐나다

부록 E 언론 홍보

구분	발표일자	제 목
보도 자료	2010. 12. 15	해조류 바이오매스 대량생산 및 통합활용 워크샵 개최 - 청정연료 혼합알콜 생산의 상용화 시동 - 해조류 유래 신소재 및 항장 시제품 생산 착수 - 비식용 해조류 대량생산 기술 연구 착수
	2010. 12. 27	해조류 바이오매스 통합 활용을 위한 대량생산 기술개발 체제 출범 - 외해 해조류 대량양식 시험가동 및 자동화 개념설계 착수 - 준파일롯 규모의 유기산 및 고부가가치 바이오소재 시제품 생산
	2011. 06. 30	미국, 일본의 선진 바이오에너지 기업 국내 해조류 에너지화 기술수준 인정, 파트너쉽 원해 - 해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄 개최 - 미국을 비롯 해외 네트워크 본격 가동 - 해외 연구진과의 상호보완적 관계 정립의 계기
	2011. 07. 06	국내 해조류 대량생산 및 에너지화 기술수준 인정, 국제협력구축 기틀 마련 - 2차년도 연구결과 유기산 생산수율 약 2배 증가 성공 - 국내외 기관과 실질적 MOU 체결 추진(미국-한국-일본)
방송 매체	2011. 05. 20	- KBS 9시 뉴스 부산방송
	2011. 07. 05	- KBS 9시 뉴스 목포방송 - MBC 9시 뉴스 목포방송

KBS 9시 뉴스 부산방송
2011.5.20

KBS 9시 뉴스 목포방송
2011.7.5

MBC 9시 뉴스 목포방송
2011.7.5

□ 국제신문 보도 (2011년 7월 24일)

건조 다시마에서 바이오 에너지 추출 성공

부경대 우희철 교수팀
휘발성 유기산, 희귀 금속 등
"1년 내 생산수율 80% 이를 것"

오상준 기자 letibe@kookje.co.kr

부경대 화학공학과 우희철 교수가 용당캠퍼스 청정생산기술연구소에서 건조 다시마를 활용해 휘발성 유기산을 추출하는 방법을 설명하고 있다. 김동하 기자 kimdh@kookje.co.kr

해조류에서 자동차 연료를 비롯한 청정 바이오 에너지를 뽑아내는 연구를 부산이 주도하고 있다. 그 중심에는 부경대 용당캠퍼스 청정생산기술연구소가 있다. 이 대학 화학공학과 우희철(55) 교수와 연구원들은 최근 건조 다시마에서 휘발성 유기산, 바이오 오일은 물론 부산물로 리튬 우라늄 같은 희귀금속을 추출해내는 데 성공했다. 우 교수는 "건조 다시마 1t에서 휘발성 유기산 400kg(혼합알코올 260kg), 바이오 오일 95kg, 소량의 희귀금속을 생산함에 따라 바이오 에너지 생산수율을 55%까지 끌어올렸다"며 "1년 안에 생산수율이 70~80%에 이를 것"이라고 말했다. 초산 등이 포함된 휘발성 유기산은 기초 화학연료로 사용될 수 있다. 이를 촉매로 이용해 환원 반응을 거치면 혼합 알코올로 전환되는데, 이는 기존 예탄올보다 우수한 가솔린 자동차 연료로 쓸 수 있다.

우 교수는 농림수산식품부에서 수행하는 해조류를 그린 에너지로 만드는 '해조류 바이오매스 연구'의 총책임자다. 우 교수는 다양한 에너지원을 동시에 생산하는 '해조류 바이오매스 에너지화 통합공정 원천기술'을 세계 최초로 개발했다. 미국은 아직 해조류에서 에탄올, 부탄올 등 한 종류의 에너지원을 생산하는 수준이다. 이 연구에는 국립수산과학원, 한국과학기술연구원(KIST) 등 14개 기관 25명의 교수 및 석·박사가 참여하고 있다.

과제는 경제성을 확보하기 위해 바이오 에너지 원료인 해조류를 대량 생산하는 것이다. 우 교수는 "현재 kg당 4000원선인 건조 다시마 가격으로는 경제성이 부족하다"며 "먼 바다에 자동화생산시스템을 구축해 고밀도 대량 양식으로 해조류 가격을 10분의 1 가량 낮추면 경제성을 갖춰 상용화가 가능하다"고 설명했다. 농림수산식품부는 이를 위해 기장, 통영, 완도에서 모자반 등 4종의 비식용 해조류에 대한 양식실험을 하고 있다. 이를 통해 외해 대량양식에 적합한 종을 찾아 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터를 구축할 계획이다.

최종편집 : 2011.7.28 목 21:28
시작페이지로 설정 즐겨찾기추가
Since 1989
에너지경제

메일보내기 오류신고 프린트 가 가

국내 해조류 대량생산 및 에너지화 기술수준 인정, 국제협력체제 구축 기틀 마련

차년도 연구결과 해조류 유기산 생산수율 약 2배 증가 성공

2011년 07월 14일 (목) 08:52:53

안희민 기자 eewn@chol.com

농림수산식품부(장관 서규용)는 7월 3일부터 5일까지 전남 완도군 장보고기념관에서 「해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄」개최를 통하여, 우리나라 해조류 바이오매스 활용이 세계적인 수준에 있음을 다시금 확인했다.

이번 심포지엄은 우리나라 해조류 주 생산지인 완도군에서 개최됐고, 미국과 일본의 선진 해조류 바이오에너지 분야관련 CEO와 학자를 초청, 현재 연구 성과를 및 기술내용의 수준을 짚어보는 장으로 활용됐다.

특히, 바이오에너지 선진국인 미국 기업들의 해조류 원료 확보 방안 및 바이오에너지 기술개발 수준과 일본의 해조류 고부가가치화 기술을 국내에서 최초로 공개했으며, 현재 농림수산식품부 등 국내 연구기관에서 추진하고 있는 해조류 바이오매스 확보 및 에너지화 기술개발 수준을 홍보하였다. 또, 국제협력 연구를 위해 MOU를 체결하기로 합의했다.

미국의 바이오 아키텍처랩사는 칠레에서의 40헥타르 규모의 해조류 시범 생산과 이를 이용한 에너지 생산기술에 대해 발표했으며, 미국 서스테이너블즈사는 "베트남 메콩델타에서의 기회와 도전"이라는 주제로 메콩델타 지역을 활용한 해조류의 생산 및 이를 이용한 에너지 생산 계획을 발표했다.

농림수산식품부에서 연 10억원을 지원받아 연구과제를 수행하고 있는 「해조류 바이오매스 연구그룹」(책임자 : 부경대 우희철 교수)은 "해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가 가치소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술"에 대한 2차년도 연구성과를 발표했고, 국내기업 (주)바이올시스템즈는 "홍조류로부터 바이오 알코올 생산"에 대한 연구성과를 발표했다.

광주전남 대표정론지
무등일보

해조류 바이오에너지 국제심포지엄 개최

입력시간 : 2011. 06.30. 00:00

해조류 양식장.

7월 4일부터 이틀동안 완도읍 장보고기념관 일원

해양생물 활성화 기대

완도군과 부경대학교가 공동으로 주최하는 '해조류 바이오에너지 국제심포지엄'이 내달 4일 완도서 열린다.

완도군은 29일 "해양생물을 이용한 '해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지'란 주제로 국제심포지엄이 내달 4일부터 양일간 완도읍 장좌리에 위치한 장보고기념관 일원에서 개최된다"고 밝혔다.

이번 심포지엄은 농림수산식품부가 바이오에너지(Bio-Energy) 개발 사업을 추진, 부경대학교 청정기술연구소가 연구사업의 일환으로 국내외 해조류 바이오에너지 관련 CEO와 학계가 모여 그동안의 성과를 발표하고, 상호간 정보를 교환하는 자리를 마련하기 위해 열린다.

이날 심포지엄은 미국의 Algen Sustainables사의 경영자인 James Coke씨를 비롯한 외국 전문가 3명과 국내 바이오에너지 전문분야 대학교수 6명이 국내외 해조류 대량생산 방안과 바이오연료 생산기술 현황 등에 대한 발표와 토론으로 이뤄진다.

완도군은 부경대학교와 인하대학교, 조선대학교 등 학계와 연구소를 통해 해양바이오 에너지 개발에 협력기관으로 참여하고 있으며, 김과 미역·다시마 등 해조류를 이용한 바이오에너지 타운을 조성한다는 전략을 세웠다.

완도군 관계자는 "완도해역에서 연간 25만톤의 해조류를 생산, 전국에서 60~70%정도 차지한다"며 "완도서 열린 국제 규모의 해조류 바이오에너지 관련 연구 사례발표를 계기로 해양생물 산업이 활성화되기를 기대한다"고 말했다.

완도=조성근기자 완도=조성근기자의 다른 기사 보기

신아일보는 한국ABC협회 부수공사에 참여하여 인증을 받은 매체입니다.

新亞日報

'해조류 바이오에너지 국제심포지엄'

각계 전문가 참석, 완도 장보고기념관서 열려

2011년 07월 05일 (화) 16:01:46

완도/김재일기자 jikim@shinailbo.co.kr

해조류 바이오에너지 국제심포지엄이 지난4일부터 2일간에 걸쳐 완도군 장보고기념관 일원에서 열렸다.

심포지엄은 완도군과 부경대학교가 공동으로 주관하고 1백여명의 국내외 해조류 바이오에너지 관련 CEO와 학자들이 참석했으며, 농림수산식품부의 바이오에너지 개발사업을 추진하는 부경대학교 청정생산기술연구소가 그동안의 성과를 발표하고 국내외 정보를 교환하는 자리가 되었다.

이날 발표는 미국의 ALgen Sustainables사의 경영자인 James Coke씨를 비롯한 외국 전문가 3명과 국내 바이오에너지 전문 대학교수 등이 했으며, 국내외 해조류 대량생산 방안과 바이오연료 생산기술 현황 등의 주제로 이루어졌다.

미국의 James Coke씨는 매콩델타에서의 기회와 도전이라는 주제로 육상의 수생 바이오매스에 대해 소개했으며, 일본 츳카이도 대학 Kazuo Miyashita 교수는 기능성 식품 성분인 갈조류 지질에 대해 발표를 했다.

국내에서는 부경대학교 우희철 교수의 한국의 해조류바이오매스 기술현황과 연구개발, 경상대학교 김남길 교수의 한국의 다시마 대량생산체계, 한국과학기술연구소 청정에너지센터 서동진박사의 해조류의 빠른 열분해와 합기성 소화를 통한 청정액체연료 생산 등에 대한 발표가 이어졌다.

이날 심포지엄에 참석한 김종식 완도군수는 "완도에서 생산되는 연간 해조류 생산량은 25만톤으로 전국에서 가장 많은 양이 생산되고 있다"면서 "최적의 지리적 여건을 활용 해조류 바이오에너지 타운을 조성해 나가겠다"고 말했다.

이 밖에도 둘째날에는 완도군의 해조류 생산현장을 직접방문 체험하기도 했다.

세계화로 가는 우리 해조류 바이오매스 기술

[97호] 2011년 07월 07일 (목) 수협중앙회

▲ 바다숲 해조류

미국·일본 선진 바이오에너지 기업 국내 해조류 에너지 기술 인정
파트너십 희망, 워크숍 개최 미국 등 해외 네트워크 구성 본격 가동

미국과 일본의 선진 바이오에너지 기업들이 우리나라 해조류 에너지화 기술 수준을 인정, 파트너쉽을 원하고 있는 것으로 알려졌다. 이에 따라 국내외 해조류바이오매스 에너지화 연구동향과 연구성과를 발표하는 심포지엄이 개최돼 주목된다.

이번 심포지엄에서는 미국 등 바이오에너지 선진 기업의 해조류 원료 확보방안과 에너지 기술개발수준이 국내 최초로 공개됐다. 농림수산식품부는 7월 3일부터 5일까지 전남 완도군 장보고기념관에서 '해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄'을 개최했다고 밝혔다.

이번 심포지엄은 해조류 주 생산지인 완도군과 해조류바이오매스 에너지화 연구를 총괄하고 있는 부경대학교 청정생산기술연구소가 공동으로 주관하는 것으로 국내외 해조류 바이오에너지 관련 기업의 CEO와 학자들을 대거 초청해 그 동안의 연구 성과를 발표하고 국내외 정보를 상호 공유하기 위하여 마련됐다.

특히 바이오에너지 선진국인 미국 기업들에서의 해조류 원료 확보 방안과 에너지 기술개발 수준을 국내 최초로 공개, 이를 토대로 농림수산식품부 등 국내 연구기관에서 추진하고 있는 해조류바이오 에너지 관련 연구 결과와 비교함으로써 국내 상업화를 보다 앞당길 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

주요 참석자는 미국의 바이오에너지 기업인 알젠 서스테이너블즈사(Algen Sustainables)의 경영자인 제임스 콕(James Coke), 바이오 아키텍처 랩사(Bio Architecture Lab)의 공동 설립자이자 경영자인 유키 카시야마(Yuki Kashiyama)와 일본 홋까이도(Hokkaido)대학의 가즈오 미야시타(Kazuo Miyashita) 교수 등이다.

잘사는 농어촌 행복한 국민

보도자료

제공일 : 2010. 12. 15.
제공자 : 농림수산식품부 자원환경과
과 장 : 박 범 수
사무관 : 차 태 황
전 화 : 02-500-2381
쪽 수 : 2P
별첨자료 : 있음(3P)

이 자료는 2010년 12월 16일 조간 이후에 보도하여 주시기 바랍니다.

해조류 바이오매스 대량생산 및 통합 활용 워크숍 개최

- 청정연료 혼합알콜 생산의 상용화 시동
- 해조류 유래 신소재 및 항장 시제품 생산 착수
- 비식용 해조류 바이오매스 대량생산기술 연구 착수

□ 농림수산식품부는『해조류 바이오매스 대량생산 및 통합 활용』 워크숍을 12월 16일(목)부터 17일(금)까지 이틀간 제주도 서귀포 KAL 호텔에서 개최한다고 밝혔다.

○ 이번 워크숍은 부경대 청정생산기술연구소가 주관이 되어 관련분야 산학관연 전문가들이 참여하며 연구결과의 공유와 질적 수준 향상을 위해 개최하는 것이다.

□ 1차년도 연구결과('09.6~'10.4)에서는 세계 최초로 해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가가치 소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술을 발표한 바 있다.

□ 2차년도 연구내용은 "에너지화 수율 향상, 바이오소재 고부가가치 시제품 생산, 준파일롯 규모의 유용물질 및 혼합알콜 생산공정 구축" 등 상용화에 초점을 둔 연구를 수행할 예정이다.

○ 섹션별 발표 주제는 1부 **해조류 대량생산기술**, 2부 **해조류 그린에너지개발**, 3부 **통합공정 및 제품개발**에 대한 것이며, 4부 **종합토론**에서 농식품부 관계자와 자문위원들이 연구내용의 적합성에 대해 논의한다.

□ 본 연구는 온실가스 저감 효과를 통한 기후변화대응에 기여할 뿐만 아니라 고부가가치 유용물질의 활용도 가능해 새로운 녹색 수산산업 창출에도 기여할 것으로 기대된다.

□ 한편, 이번 워크숍에는 농식품부에서 수습중인 새내기 사무관들이 대거 참여(16명)할 예정인데 해조류바이오매스의 신성장동력화 방안에 대한 열띤 토론이 기대된다.

<별첨>

2010년 농림수산식품부 기반구축연구

해조류 바이오매스 대량생산 및 통합 활용 워크숍

□ 개요

- 일 시 : 2010년 12월 16일(목) - 17일(금)
- 장 소 : 제주도 서귀포 KAL 호텔
- 주 최 : 농림수산식품부
- 주 관 : 부경대학교 청정생산기술연구소
- 프로그램 :

12월 16일(목)			
구분	시간	발표주제	발표자(소속 및 직위)
개회	14:00-14:30	등록	
	14:30-14:40	인사말	어업자원관
	14:40-14:50	총괄보고	우희철 교수(부경대)
1부	14:50~16:00	대량 생산 기술	국립수산과학원 경상대, 부경대 전남대, 단국대
2부	16:00~17:40	그린에너지 개발	한국과학기술연구원 한국과학기술원 고려대, 국민대 전남대, 경원대 성균관대
3부	17:40~18:50	통합공정 및 제품개발	한국에너지기술연구원 부경대, 충남대 한밭대
토의 및 정리	18:50~22:00	세부과제별 자유토론	
12월 17일(금)			
4부	09:00~11:00	종합토론	

<참고자료 1>

□ 1차년도 연구결과('09.6~'10.4)

◇ 통합적 활용 기술에 의한 고부가 유효성분 및 청정연료 생산

○ 건조 다시마 1톤(기준)을 가지고, 용매추출하여 부가가치가 높은 유용성분인 후코잔틴 및 폴리페놀 추출물 5kg을 회수하였고, 남은 고형물 975kg을 미생물로 무산소 발효시켜 혼합유기산 233kg(혼합알코올 전환시 143kg)을 생산하였다. 유기산은 분리정제해서 화학원료로도 사용할 수 있고, 혼합알코올(에탄올, 프로판올, 부탄올 등이 주된 성분임)로 간단한 화학적 처리에 의해 전환되어 자동차의 청정연료로 사용될 수 있다.

○ 혼합유기산을 얻은 후 남은 슬러지 230kg을 급속열분해시켜 바이오오일 81kg을 얻었다. 해조류에서 얻어진 바이오오일은 목질계에서 얻어지는 오일보다 가솔린 및 디젤과 유사한 구조의 탄화수소로 구성되어 있어 화학적처리 공정을 거쳐 석유대체 연료로 사용될 수 있다. 또한 이 과정에서 부가적으로 에너지원 또는 화학원료로 사용 가능한 탄소분말 83kg과 바이오가스 60kg를 얻었다.

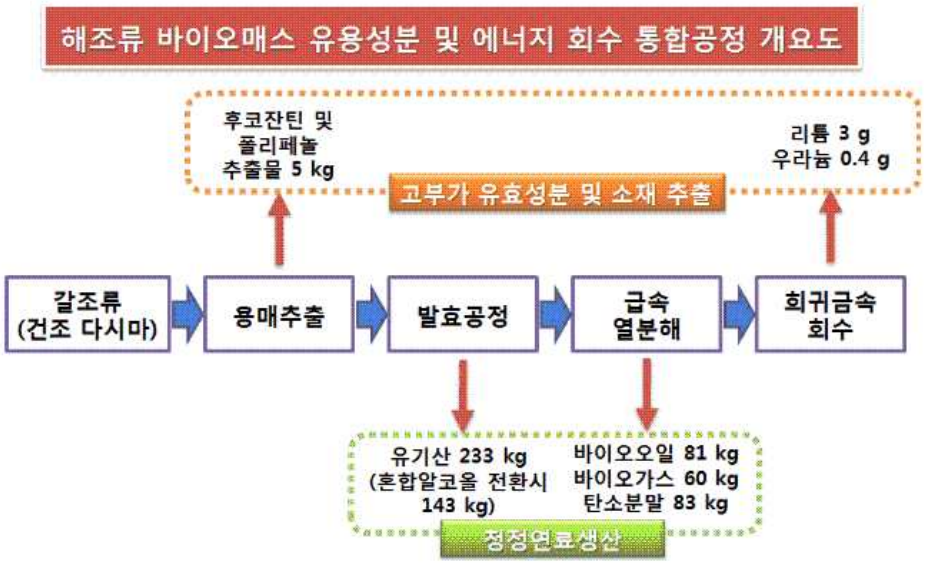
◇ 산업용 희귀금속도 회수 가능

○ 최종적으로 남은 물질을 성분 분석한 결과 희귀금속 리튬(3g)과 우라늄(0.4g) 등이 농축 함유되어 있음을 확인하였다. 이는 앞으로 본 연구프로그램속의 대량생산과 연계시킴으로서 희귀금속 자원의존국에서 자원자립국으로 도약하는데 일조할 것이다.

◇ 해조류 구성 당류 데이터베이스 구축

○ 이들 결과는 앞으로 해조류의 통합적 활용을 위한 데이터베이스 구축을 진행하여 국내 거대해조류 10여종에 대한 구성성분 및 조성을 조사 파악하였으며, 앞으로는 해외종에 대해서도 데이터베이스화 함으로서 국가 해조류 바이오매스 자원 확보 및 활용에 이용될 예정이다.

<참고자료 2>


해조류 바이오매스 유용성분 및 에너지 회수 통합공정 개요도
후코잔틴 및
폴리페놀
추출물 5 kg
고부가 유효성분 및 소재 추출
리튬 3 g
우라늄 0.4 g
갈조류
(건조 다시마)
용매추출
발효공정
급속
열분해
회귀금속
회수
유기산 233 kg
(혼합알코올 전환시
143 kg)
바이오오일 81 kg
바이오가스 60 kg
탄소분말 83 kg
정정연료생산

해조류 바이오매스 확보 및 통합적 활용 방안
대량양식
건강신소재
개발
생물학적
전환공정 개발
그린에너지
융합공정 개발
통합공정 및
제품 개발
내해외양식
해조류 종개발
생산관리
시스템
식품
의약품
화장품
전처리
에탄올
부탄올
유기산/
혼합알콜
바이오오일/
가스
통합공정
바이오복합재료
기초생활제품

잘사는 농어촌 행복한 국민

보도자료

제공일 : 2010. 12. 21
제공자 : 농림수산식품부 자원환경과
과 장 : 박 범 수
사무관 : 차 태 항
전 화 : 02-500-2381
쪽 수 : 2P
별첨자료 : 있음(3P)

이 자료는 2010년 12월 22일 조간 이후에 보도하여 주시기 바랍니다.

해조류 바이오매스 통합 활용을 위한 대량생산 기술개발 체제 출범

- 외해 해조류 대량양식 시험가동 및 자동화 개념설계 착수
- 준파일롯 규모 유기산 및 고부가 바이오소재 시제품 생산

□ 농림수산식품부는 12월 16일(목)부터 17일(금)까지 이틀간 제주도 서귀포 KAL 호텔에서 『해조류 바이오매스 대량생산 및 통합 활용』 워크숍을 통해 2차년도 연구성과 목표 및 계획을 발표하였다.

○ 부경대 청정생산기술연구소(연구책임자 우희철 교수)가 주관한 이번 워크숍을 통해 산학관연의 관련분야 전문가들이 참여하여, 현재까지 연구성과를 토론하고 향후 연구방향에 대해 조율하였다.

□ 2차년도의 핵심 연구내용으로, 바이오매스용 해조류를 안정적으로 생산 공급하기 위한 **대량생산기술의 연구가 본격적으로 시작**된다.

○ 우리나라 서남해 인근 해역에서 외해(外海) 대량양식이 시험 가동되며, 외해에서 잘자라는 비식용 해조류를 포함하여 최적의 해조류 종을 선별한다고 밝혔다. 또한, 외해 자동화 대량생산 시설 및 자동화 이송시스템 개발 연구를 수행한다.

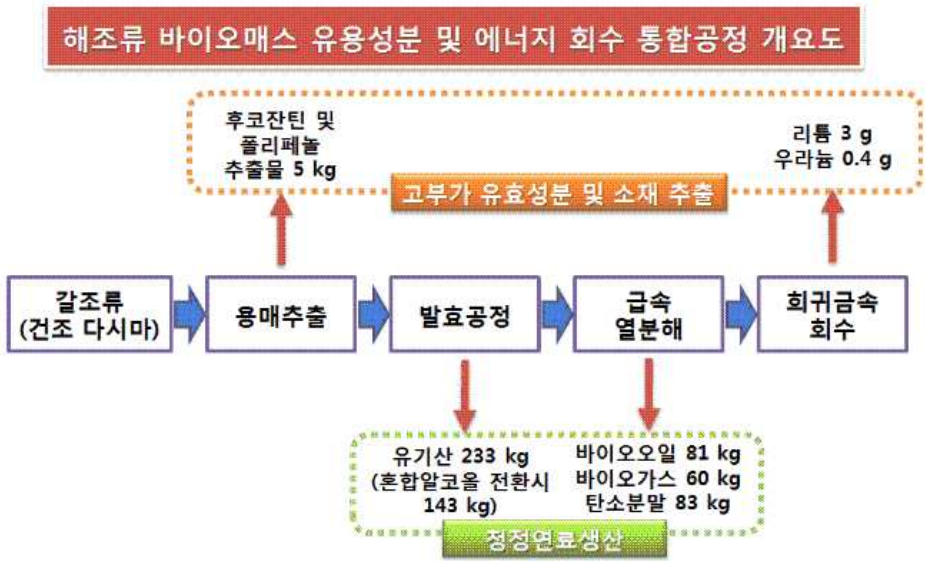
□ 해조류를 통합활용 하기 위한 기술개발연구는 1차년도의 실험실 수준에서 벗어나 **준파일롯 규모로 유기산 300kg/톤(갈조류 1톤 기준)을 생산**하고, **바이오소재 고부가가치 시제품 제작**을 통해 가시적인 성과를 선보일 것이라고 밝혔다.

○ 농식품부는 지난 5월 10일 발표한 『해조류 바이오매스의 그린 에너지화 및 통합적 활용』 기반구축 1차년도 연구를 통하여, **"해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가가치 소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술을 국내외 최초로 확보**한 바 있다.

○ 이러한 연구를 통해 얻어질 성과물은 지적재산권으로 확보(특허 8건, 논문 16편)할 예정이며, **국제심포지엄 개최 및 국제학술지 게재**를 통하여 해조류 바이오매스 통합활용의 주도권을 확보할 계획이다.

□ 본 연구는 장기적으로 국가핵심전략 중 하나인 탄소배출저감에 기여할 뿐만 아니라 수산 및 바이오분야의 새로운 녹색산업 창출에도 기여할 것으로 기대 된다.

<참고자료 1>


해조류 바이오매스 유용성분 및 에너지 회수 통합공정 개요도
후코잔틴 및
폴리페놀
추출물 5 kg
고부가 유효성분 및 소재 추출
리튬 3 g
우라늄 0.4 g
갈조류
(건조 다시마)
용매추출
발효공정
급속
열분해
회귀금속
회수
유기산 233 kg
(혼합알코올 전환시
143 kg)
바이오오일 81 kg
바이오가스 60 kg
탄소분말 83 kg
정정연료생산

해조류 바이오매스 확보 및 통합적 활용 방안
대량양식
건강신소재
개발
생물학적
전환공정 개발
그린에너지
융합공정 개발
통합공정 및
제품 개발
내해외양식
해조류 종개발
생산관리
시스템
식품
의약품
화장품
전처리
에탄올
부탄올
유기산/
혼합알콜
바이오오일/
가스
통합공정
바이오복합재료
기초생활제품

<참고자료 2>

『해조류 바이오매스의 그린에너지화 및 통합적 활용』 기반구축 1차년도('09.6~'10.4) 연구성과

◇ 통합적 활용 기술에 의한 고부가 유효성분 및 청정연료 생산

○ 건조 다시마 1톤(기준)을 가지고, 용매추출하여 부가가치가 높은 유용성분인 후코잔틴 및 폴리페놀 추출물 5kg을 회수

○ 남은 고형물 975kg을 미생물로 무산소 발효시켜 혼합유기산 233kg(혼합알코올 전환시 143kg)을 생산

* 유기산은 분리정제해서 화학원료로도 사용할 수 있고, 혼합알코올(에탄올, 프로판올, 부탄올 등이 주된 성분임)로 간단한 화학적 처리에 의해 전환되어 자동차의 청정연료로 사용 가능

○ 혼합유기산을 얻은 후 남은 슬러지 230kg을 급속 열분해시켜 바이오오일 81kg 생산

* 해조류류에서 얻어진 바이오오일은 목질계에서 얻어지는 오일보다 가솔린 및 디젤과 유사한 구조의 탄화수소로 구성되어 있어 화학적 처리 공정을 거쳐 석유대체 연료로 사용될 수 있으며, 또한 이 과정에서 부가적으로 에너지원 또는 화학원료로 사용 가능한 탄소분말 83kg과 바이오가스 60kg를 생산

◇ 산업용 희귀금속도 회수 가능

○ 최종적으로 남은 물질을 성분 분석한 결과 희귀금속 리튬(3g)과 우라늄(0.4g) 등이 농축 함유되어 있음을 확인하였으며, 이는 앞으로 본 연구 프로그램속의 대량생산과 연계시킴으로서 희귀금속 자원의존국에서 자원자립국으로 도약하는데 일조할 것으로 기대

◇ **육상 목질계에 비하여 충분히 경제성이 있음을 확인**

○ 이러한 가시적 결과를 바탕으로, 기존에 발표된 해조류 바이오에탄올 생산 결과와는 크게 다른 해조류 바이오매스 통합적 활용공정을 구축하였으며, 해조류가 육상 목질계에 비하여 충분히 경제성이 있다는 확신을 가질 수 있도록 하였다.

잘사는 농어촌 행복한 국민

보도자료

제공일 : 2011. 6. 30.
제공자 : 농림수산식품부 자원환경과
과 장 : 박 범 수
서기관 : 차 태 항
전 화 : 500-2389
쪽 수 : 5P
별첨자료 : 있음(3P)

이 자료는 2011년 7월 1일 조간 이후에 보도하여 주시기 바랍니다.

미국,일본의 선진 바이오에너지 기업 국내 해조류 에너지화 기술 수준 인정, 파트너쉽 원해

- 해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄 개최
- 미국을 비롯 해외 네트워크 구성 본격 가동
- 해외 연구진과의 상호 보완적 관계 정립의 계기

《 주 요 내 용 》

◇ 국내외 해조류바이오매스 에너지화 연구동향과 연구성과 발표

◇ 미국 등 바이오에너지 선진 기업의 해조류 원료 확보방안과 에너지 기술개발수준 국내 최초 공개

※미국의 알젠 서스테이너블즈사 (Algen Sustainables)의 경영자 제임스 콕(James Coke), 미국 바이오 아키텍처 랩사(Bio Architecture Lab)의 경영자 유키 카시야마(Yuki Kashiyama), 일본 홋까이도(Hokkaido) 대학 가즈오 미야시타(Kazuo Miyashita) 교수

❑ 농림수산식품부(장관 : 서규용)는 7월 3일부터 5일까지 전남 완도군 장보고기념관에서 『해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄』을 개최한다고 밝혔다.(참고자료 1)

○ 이번 심포지엄은 해조류 주 생산지인 완도군과 해조류바이오매스 에너지화 연구를 총괄하고 있는 부경대학교 청정생산기술연구소가 공동으로 주관하는 것으로 국내외 해조류 바이오에너지 관련 기업의 CEO와 학자들을 대거 초청하여 그 동안의 연구 성과를 발표하고 국내외 정보를 상호 공유하기 위하여 마련되었다.

❑ 특히, 바이오에너지 선진국인 미국 기업들에서의 해조류 원료 확보 방안과 에너지 기술개발 수준을 국내 최초로 공개하며, 이를 토대로 농림수산식품부 등 국내 연구기관에서 추진하고 있는 해조류바이오 에너지 관련 연구 결과와 비교함으로써 국내 상업화를 보다 앞당길 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

○ 주요 참석자는 미국의 바이오에너지 기업인 알젠 서스테이너블즈사(Algen Sustainables)의 경영자인 제임스 콕(James Coke), 바이오 아키텍처 랩사(Bio Architecture Lab)의 공동 설립자이자 경영자인 유키 카시야마(Yuki Kashiyama)와, 일본 홋까이도(Hokkaido)대학의 가즈오 미야시타(Kazuo Miyashita) 교수 등이며 미국과 일본의 해조류 대량생산 및 바이오에너지 관련 기술 및 산업 현황에 대해 발표하게 된다.

○ 미국의 바이오 아키텍처랩사는 칠레에서의 40헥타르 규모의 해조류 시범 생산과 이를 이용한 에너지 생산기술에 대해 발표할 예정이며, 미국 서스테이너블즈사는 “베트남 메콩델타

에서의 기회와 도전"이라는 주제로 메콩델타 지역을 활용한 해조류의 생산 및 이를 이용한 에너지 생산 계획을 발표할 예정이다.

❑ 한편, 국내 바이오에너지 연구팀으로는 농림수산식품부 연구과제를 수행하고 있는 『해조류 바이오매스 연구그룹』(책임자 : 부경대 우희철 교수)에서 "해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가 가치소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술"에 대한 연구 성과를 발표하며, 바이올시스템즈에서 "홍조류로부터 바이오 알콜 생산"에 대한 연구성과를 발표한다.

○ 부경대 『해조류 바이오매스 연구그룹』은 지난해 일괄공정으로 다종류의 에너지원을 동시 생산하는 "해조류바이오매스 에너지화 통합공정 원천기술"을 세계 최초로 개발하여 경제성 확보 가능성을 제시한 바 있다. 금년도 가시적 성과로는 건조 다시마 1톤으로부터 휘발성 유기산 350kg, 바이오오일 95kg을 생산하는 데 성공함으로써, 전년대비 바이오에너지 생산수율을 약 50%까지 향상시키는 공정을 구축하였다.(참고자료 2)

○ 또한, 바이오에너지 원료로서의 해조류를 대량생산하기 위하여 모자반 외 3종의 비식용 해조류를 완도를 비롯한 기장과 통영에서 양식실험을 행하고 있으며, 에너지원이 될 수 있는 대상종과 고밀도 양식방법을 개발하는 등, 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터를 구축해 나가고 있다. (참고자료 3)

○ (주)바이올시스템즈는 동남아에서 생산되는 홍조류(우무가사리)에서 바이오에탄올을 생산한 바 있으며 현재 전남 고흥에서 대규모 현장 실험(pilot plant)을 실시하고 있다. 또한, 사탕수수와 옥수수 등과 같은 대표적인 육상 바이오매스와 해양 바이오매스와의 에탄올 생산 경제성 검토를 하고 있다.

❑ 농림수산식품부 관계자는 앞으로 해조류바이오매스 통합매스와 에너지화에 대한 국제간 정보공유와 인적네트워크 확대를 위하여 국내외 석학과 관련기업이 참여하는 국제 심포지엄을 매년 정례적으로 개최할 계획이라고 밝혔다.

○ 이러한 노력은 향후 국가 에너지 자립 기반구축 및 온실가스 저감 효과를 통한 기후변화대응에 선제적으로 대처할 수 있는 초석이 될 뿐 아니라, 유용물질의 고부가가치화를 통해 새로운 녹색산업 창출에 기여할 것으로 기대된다.

❑ 농림수산식품부에서 수행하고 있는 해조류 바이오매스관련 사업은 비식용 해조류의 통합적 활용을 통해 그린에너지 생산 및 유용 활성 물질의 고부가가치화 창출하기 위한 기술개발에 그 목적이 있다.

○ 해조류 바이오매스는 육상 바이오매스(특히, 옥수수, 목질계 등)와 경쟁하지 않는 재생에너지 자원임과 동시에 고부가가치 산업을 창출하는 “블루오션”이 될 수 있다.

○ 현재 영국, 미국, 일본 등 선진국들도 본 연구와 유사한 기술

개발 프로그램을 계획하고 바이오에너지 시장을 조기 선점하기 위하여 정부와 기업에서 막대한 예산을 투입하고 있는 것으로 알려지고 있다.

○ 심포지엄에 참석한 과학자들은 현재 본 연구 프로그램이 세계적으로 선도적인 위치를 계속 유지하면서 원천기술의 조기 확보와 상용화를 앞당기기 위해서는 정부의 전폭적인 연구재원 지원이 절실하다는 입장이며

○ 농림수산식품부 관계자는 앞으로도 해조류바이오매스 통합활용 기술의 조기 상용화 실현을 위하여 지속적으로 예산을 확대할 계획이라고 밝혔다.

<참고자료 1>

□ 해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄

(2011년 7월 4일)

시 간	주 제	발 표
08:30~09:00	등 록	
09:00~09:10	개 회 사	
09:10~09:30	축 사	
Session 1	좌 장	오경근 교수 (단국대학교)
09:30-10:20	홍조류로부터 바이오알콜 생산	신명교 박사 (바이올시스템스)
10:20~11:10	거대조류로부터 재생가능한 연료와 화합물 생성을 위한 생물합성	Mr. Yuki Kashiyama (BAL Chile 바이오 설계연구소, CEO, 미국)
11:10~11:20	휴 식	
11:20~12:10	연안 자생 바이오매스의 활용 (매콩델타에서의 기회와 도전)	Mr. James Coke (Algen Sustainables, CEO, 미국)
12:10~13:30	중식	
Session 2	좌 장	김헌태 교수 (부경대학교)
13:30~14:20	건강 기능소재로서의 갈조류	Kazuo Miyashita 교수 (홋카이도 대학, 일본)
14:20~14:40	한국의 해조류 바이오매스 기술현황과 연구개발 계획	우희철 교수 (부경대학교)
14:40~15:00	한국의 다시마 대량생산 기술 개발	김남길 교수 (경상대학교)
15:00~15:10	휴 식	
Session 3	좌 장	박용철 교수 (국민대학교)
15:10~15:30	해조류의 생물학전 전환공정 개발	김경현 교수 (고려대학교)
15:30~15:50	기능성 식품원으로서 해조류 이용	김형락 교수 (부경대학교)
15:50~16:10	급속 열분해 및 혐기성 소화를 이용한 해조류의 바이오오일 생산기술 개발	서동진 박사 (KIST, 청정에너지센터)
16:10~17:00	토 론	좌장: 김형락 교수 (부경대학교)

International Symposium on Seaweed Biomass Production & Bioenergy

July 3-5, 2011 / ChangPoGo Memorial Hall, Wando, Korea

- Supported by : Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries
- Hosted by : The Institute of Cleaner Production Technology, Pukyong National University, Wando County

Program

Date	Time	Subject	Lecturer
7. 3	18:30~20:30	· Welcome Reception	
7. 4	08:30~09:00	· Registration	
	09:00~09:10	· Opening Remark	
	09:10~09:30	· Congratulatory Remark	
	Session 1	Chairman	Dr. Kyeongkeun Oh (Prof. Dankook University)
	09:30-10:20	· Production of Bioethanol from Macro Red Algae	Dr. Myung Kyo Shin (Vice-President, Biolsystems)
	10:20~11:10	· Synthetic Biology for Renewable Fuels and Chemical Production from Macroalgae	Mr. Yuki Kashiyama (Co-founder & CEO of BAL Chile, Bio Architecture Lab, USA)
	11:10~11:20	Coffee Break	
	11:20~12:10	· On-shore Aquatic Biomass: Opportunities and Challenges in the Mekong Delta	Mr. James Coke (CEO, Algen Sustainables, USA)
	12:10~13:30	Lunch	
	Session 2	Chairman	Dr. Heon-Tae Kim (Prof. Pukyong National University)
	13:30~14:20	· Beneficial Health Effect of Seaweed Bio-actives	Dr. Kazuo Miyashita (Prof. Hokkaido University, Japan)
	14:20~14:40	· Current Status and R&D Roadmap of Seaweed Biomass Technology in Korea	Dr. Hee Chul Woo (Prof. Pukyong National University)
	14:40~15:00	· Introduction to the Massculture System of Kelp in Korea	Dr. Nam-Gil Kim (Prof. Gyeongsang National University)
	15:00~15:10	Coffee Break	
	Session 3	Chairman	Dr. Yong-Cheol Park (Prof. Kookmin University)
	15:10~15:30	· Development of Biological Conversion Process for Utilizing Brown Macroalgae	Dr. Kyoung Heon Kim (Prof. Korea University)
	15:30~15:50	· Potential Utilization of Sesweeds as Nutraceuticals	Dr. Hyeung-Rak Kim (Prof. Pukyong National University)
	15:50~16:10	· Green Liquid Fuel Production from Seaweed by Fast Pyrolysis and Anaerobic Digestion	Dr. Dong Jin Suh (Researcher, Clean Energy Center, Korea Institute of Science & Technology)
	16:10~17:00	Panel Discussion	Chairman Dr. Hyeung-Rak Kim, (Prof. Pukyong National University)
7. 5	09:00~	Discussion and Seaweed Farm Tour	

<참고자료 2>

해조류 바이오매스 에너지화 통합공정도
- 건조 다시마 1톤으로 부터 바이오에너지 수율 50% 달성
건조다시마
원료 1톤
용매추출
후코잔틴 및 폴리페놀 회수
혐기성 소화
휘발성 유기산 350kg (혼합알코올 215kg)
급속 열분해
바이오오일 95kg(기타 : 탄소분말, 바이오가스)
희귀금속 회수
리튬, 우라늄

<참고자료 3>

바이오매스용 해조류의 대량양식 : 대상종 및 적지 선정 개념설계
외해 대량양식에 적합한 대상종 선정
외해 대량양식에 유리한 적지선정
외해대량양식 시설의 설계
지속적이고 안정적인 생산 체제 구축
환경친화적 생산과 이용이 가능한 시스템의 개발
해조산업-저탄소 녹색성장의 전략사업
잠재양식 가능 수면적의 활용을 통한 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터 구축

잘사는 농어촌 행복한 국민

보도자료

제공일 : 2011. 7. 6.
제공자 : 농림수산식품부 자원환경과
과 장 : 박 범 수
서기관 : 차 태 황
전 화 : 500-2389
쪽 수 : 4P
별첨자료 : 있음(1P)

이 자료는 2011년 7월 7일 조간 이후에 보도하여 주시기 바랍니다.

국내 해조류 대량생산 및 에너지화 기술수준 인정, 국제협력체제 구축 기틀 마련

- 2차년도 연구결과 해조류 유기산 생산수율 약 2배 증가 성공
- 국내외 기관과 실질적 MOU 체결 추진(미국-한국-일본)

《 주 요 내 용 》

◇ 국내 해조류 바이오매스 에너지화 2차년도 연구결과 유기산 생산수율 약 2배 증가 성공

◇ 미국 선진기업의 바이오에너지 기술과 일본의 해조류 고부가가치화 기술, 우리나라의 해조류 대량생산 및 통합활용기술의 연계를 통한 Win-Win 효과 기대, MOU 체결 추진

❑ 농림수산식품부(장관 서규용)는 7월 3일부터 5일까지 전남 완도군 장보고기념관에서 『해조류 바이오매스 대량생산 및 바이오에너지 국제심포지엄』 개최를 통하여, 우리나라 해조류 바이오매스 활용이 세계적인 수준에 있음을 다시금 확인하였다.

○ 이번 심포지엄은 우리나라 해조류 주 생산지인 완도군에서 개최되었고, 미국과 일본의 선진 해조류 바이오에너지 분야 관련 CEO와 학자를 초청, 현재 연구성과 및 기술내용 발표를 통하여 국내외 정보를 상호 교류하는 장이 마련되었다.

❑ 특히, 바이오에너지 선진국인 미국 기업들의 해조류 원료 확보 방안 및 바이오에너지 기술개발 수준과 일본의 해조류 고부가 가치화 기술을 국내에서 최초로 공개하였으며, 현재 농림수산식품부 등 국내 연구기관에서 추진하고 있는 해조류 바이오매스 확보 및 에너지화 기술개발 수준 PR을 통해 국내기술의 독창성을 알리고, 국제협력 연구를 위해 MOU를 체결하기로 합의하였다.

○ 미국의 바이오 아키텍처랩사는 칠레에서의 40헥타르 규모의 해조류 시범 생산과 이를 이용한 에너지 생산기술에 대해 발표하였으며, 미국 서스테이너블즈사는 "베트남 메콩델타에서의 기회와 도전"이라는 주제로 메콩델타 지역을 활용한 해조류의 생산 및 이를 이용한 에너지 생산 계획을 발표하였다.

○ 국내 바이오에너지 연구팀으로는 농림수산식품부 연구과제를 수행하고 있는『해조류 바이오매스 연구그룹』(책임자 : 부경대 우희철 교수)에서 "해조류 바이오매스로부터 청정연료와 고부가 가치소재를 동시에 생산하는 통합공정 원천기술"에 대한 2차년도 연구성과를 발표하였고, 국내기업으로 바이올시스템즈에서 "홍조류로부터 바이오 알코올 생산"에 대한 연구성과를 발표하였다.

❑ 부경대『해조류 바이오매스 연구그룹』은 지난해 일관공정으로 다종류의 에너지원을 동시 생산하는 "해조류바이오매스 에너지화 통합공정 원천기술"을 세계 최초로 개발하여 경제성 확보 가능성을 제시한 바 있다. 금년도(2차년도) 가시적 성과로는 건조 다시마 1톤으로부터 휘발성 유기산 400kg(혼합알코올 260kg), 바이오오일 95kg을 생산하는 데 성공함으로써, 전년대비 바이오에너지 생산수율을 약 55%까지 향상시키는 공정을 구축하였다. 초산등을 포함하는 휘발성 유기산은 기초 화학원료로 사용될 수 있으며, 이를 촉매를 이용하여 환원 반응을 그치면 혼합알코올로 전환되는데 이는 기존의 에탄올보다 우수한 성질을 가진 가솔린 자동차 연료로 사용할수 있다.(참고자료 1)

○ 또한, 바이오에너지 원료로서의 해조류를 대량생산하기 위하여 모자반 외 3종의 비식용 해조류를 완도를 비롯한 기장과 통영에서 양식실험을 행하고 있으며, 에너지원이 될 수 있는 대상종과 고밀도 양식방법을 개발하는 등, 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터를 구축해 나가고 있다.(참고자료 2)

○ (주)바이올시스템즈는 동남아에서 생산되는 홍조류(우무가사리)에서 바이오에탄올을 생산한 바 있으며, 현재 전남 고흥에서 대규모 현장 실험(pilot plant)을 실시하고 있다. 또한, 사탕수수와 옥수수 등과 같은 대표적인 육상 바이오매스와 해양 바이오매스와의 에탄올 생산 경제성 검토를 하고 있다.

❑ 농림수산식품부 관계자는 향후 해조류 바이오매스 대량생산 및 에너지화에 대한 국제간 정보공유와 인적네트워크 확대를 위하여 MOU를 체결할 예정이며, 국내외 석학과 관련기업이 참여하는 국제 심포지엄을 매년 정례적으로 개최할 계획이라고 밝혔다.

❑ 농림수산식품부에서 수행하고 있는 해조류 바이오매스관련 사업은 비식용 해조류의 통합적 활용을 통해 그린에너지 생산 및 유용 활성 물질의 고부가가치화 창출하기 위한 상용화 기술 개발에 그 목적이 있으며, 미국, 영국, 일본 등 선진국에 맞서 바이오에너지 시장을 조기 선점하기 위해 정부의 전폭적인 재정지원을 추진할 계획이라고 밝혔다.

❑ 이러한 노력은 향후 국가 에너지 자립 기반구축 및 온실가스 저감 효과를 통한 기후변화대응에 선제적으로 대처할 수 있는 초석이 될 뿐 아니라, 유용물질의 고부가가치화를 통해 새로운 녹색산업 창출에 기여할 것으로 기대된다.

<참고자료 1>

해조류 바이오매스 에너지화 통합공정도
- 건조 다시마 1톤으로부터 바이오에너지 수율 약 55% 달성
건조 다시마
원료 1톤
알코올 추출
후코잔틴 및 플리페놀 회수
혐기성 소화
휘발성 유기산 400 kg (혼합알코올 260 kg)
급속 열분해
바이오오일 95 kg(기타 : 탄소분말, 바이오가스)
희귀금속 회수
리튬, 우라늄

<참고자료 2>

바이오매스용 해조류의 대량양식 : 대상종 및 적지 선정 개념설계
외해 대량양식에 적합한 대상종 선정
외해 대량양식에 유리한 적지선정
외해대량양식 시설의 설계
지속적이고 안정적인 생산 체제 구축
환경친화적 생산과 이용이 가능한 시스템의 개발
해조산업-저탄소 녹색성장의 전략사업
잠재양식 가능 수면적의 활용을 통한 해조류 바이오매스 생산단지 클러스터 구축

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 연구용역사업의 결과 보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표할 때에서는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 연구용역사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.